



EESTI MAAÜLIKOOL
Tartu Tehnikakolledž

Andrei Sizov

**KÄSIPIDURI SÜSTEEMI LAHENDUS VIRTUAALSE
VÕIDUSÕIDU SIMULAATORILE**

**HANDBRAKE SYSTEM SOLUTION FOR VIRTUAL RACING
SIMULATOR**

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö
Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: lektor Marten Madissoo, *PhD*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrghariduse lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Andrei Sizov		Õppekava: Tehnotroonika 2013	
Pealkiri: Käsipiduri süsteemi lahendus virtuaalse võidusõidu simulaatoritele.			
Lehekülgi: 77	Jooniseid: 33	Tabeleid: 5	Lisasid: 16
Osakond: Tehnikakolledž Uurimisvaldkond: T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering Juhendaja: Marten Madissoo, PhD Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida ja konstrueerida virtuaalse võidusõidu simulaatorile kontroller tagasisidesüsteemiga, mis töötab roolikomplektiga, oleks lihtne oma konstruktsioonilt ja oleks madala omahinnaga. Lõputöös antakse ülevaade turul olevate seadmetega ja pakutakse lahendust, mis kõlbaks püstitatud eesmärkidega. Lisaks on välja toodud arvutusi optimaalse käsipiduri tunnetuse saamiseks. Töö lõpuosas on kirjeldatud seadme ühendamisest simulaatoriga ja kasutatud vabavara UnoJoy programmi koodist.</p>			
Märksõnad: simulaator, kontroller, Unojoy, tagasisidesüsteem			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional higher education thesis	
Author: Andrei Sizov		Speciality: Technotronics 2013	
Title: Handbrake system solution for virtual racing simulator			
Pages: 77	Figures: 33	Tables: 5	Appendixes: 16
Department: Tehnikakolledž Field of research: T125 Automation, robotics, control engineering Supervisor: Marten Madissoo, PhD Place and date: Tartu 2017			
<p>The purpose of the thesis is to design and create a hand brake controller for a virtual racing simulator with a feedback system. Which would work with a steering wheel controller without any complications. This is made with the intension to make a suitable simulator hand break for any user. Said controller must have easy design and low self-cost. In this thesis is given an overview of possible devices which can be bought on the market. Additionally calculations were made for an optimal feel for the feedback system, In the end of this theses the author is giving an explanation about used freeware Unojoy and its program code.</p>			
Keywords: simulator, controller, Unojoy, feedback system			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. TEEMA TUTVUSTUS	7
1.1. Virtuaalne võidusõidu simulaator	7
1.2. Seisupidur, käsipidur ja nende kasutamine	8
1.3. Simulaatori käsipiduri tüüpidega ülevaade	9
1.3.1. Võrdlus	11
1.4. Projekteerimistingimused	14
1.5. Tagasiside lahenduse võrdlus	16
1.6. Andurite ülevaade	20
1.6.1. Andurite valik projekteeritavale seadmele	24
2. KÄSIPIDURI PROJEKTEERIMINE	25
2.1. Toote arendus	25
2.2. Toote kujundus	26
2.3. Modelleerimine	28
2.3.1. Kasutatud tarkvara	28
2.3.2. Käsipiduri kang	29
2.3.3. Tagasisidesüsteem	31
2.3.4. Alusplaat	32
2.3.5. Alusplaati simulatsioon	33
2.3.6. Korpuse kaas	36
2.4. Tagasisidesüsteemi arvutused	38
2.4.1. Vedru arvutused	38
2.4.2. Tagasisidesüsteemi vedru valik	40
2.4.3. Kummipuhvri arvutus	41
2.4.4. Kummipuhvri valik	44
3. SIGNAALI TÖÖDELEDUS	45
3.1. Kontrolleri	45
3.2. Potentsiomeeter	46
3.3. Arendusplaadi ja potentsiomeetri ühendus	46
3.4. Draiver	47
3.5. <i>Unojoy</i> tarkvarapakett	48
3.5.1. <i>Unojoy</i> installeerimine	49
3.6. Tarkvara paketi ja riistvara katsetamine	51
3.7. Programmi kood	52

3.8. Majanduslik analüüs.	54
3.9. Seadme võimalik edasiareng.....	55
KOKKUVÕTTE.....	56
Kasutatud kirjandus	58
SUMMARY	60
LISAD	61
LISA A Tehnilised joonised	62
LISA B Elektriskeem	76
Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	77

SISSEJUHATUS

Tänu kiirele tehnoloogilise arengule koguvad virtuaalsed simulaatorid tänapäeval kiirest populaarsust. Selle tulemusel on igal inimesel võimalik katsetada virtuaalsimulaatorit ja oma kodus. See annab inimestele võimaluse hankida kogemusi ja teadmisi uuetest valdkondadest ja keskkondadest kodust lahkumata. Kõige paremate kogemuste ja oskuste saamiseks tuleb kasutada spetsiaalselt simulaatorite kasutamiseks valmistatud riistvara. Varasemalt on võidusõidu simulaatoritele projekteeritud ja konstrueeritud palju erinevaid roolikontrollereid. Antud töö eesmärgiks on disainida ja koostada võidusõidu simulaatorile käsipiduri kontroller, mis aitaks kaasa optimaalse kogemuse saamisele.

Käesolev lõputöö on projekt, mille eesmärgiks on välja töötada lahendus virtuaalsete simulaatorite käsipiduri seadet tagasisidega, mis oleks võimeline mõjutada virtuaalse võidusõidu simulaatorit vastavalt seadme ülesandele. Projekti käigus oli tarvis projekteerida seade, mille kontroller oleks sisse ehitatud seadme korpusesse ja võtaks ühendust simulaatori USB juhtme kaudu. Käsipiduri lahendus peab mahtuma võidusõitja istme külge nii, et ei mõjutaks virtuaalsel simulaatoril opereerimist ja annaks tagasisidet kasutamise ajal, mis oleks sarnane reaalsusega.

Antud töö esimeses osas on antud ülevaade seisupiduri ja simulaatorite terminoloogiast ja ajaloo kohta. Teises osas on tehtud ülevaade ja võrdlus turu olevatest simulaatori käsipiduritest. Seejärel on võrreldud tagasisidesüsteemide lahendusi. Järgmiseks on uuritud erinevaid andureid, mida saab kasutada antud projektis. Kolmandas osas käsitletakse disaini, arendusmetoodikat ja tagasisidesüsteemi arvutustes. Neljandas osas käsitletakse kasutatud tarkvara, riistvara ja probleeme, mida on võimalik tulevikus parendada.

1. TEEMA TUTVUSTUS

1.1. Virtuaalne võidusõidu simulaator

Võidusõidu harjutamiseks võib kasutada reaalset autot, laeva ja lennukit, niimoodi tehti minevikus ja muidugi tehakse seda ka praegusel ajal. Kas see on kõige ohutum ja kõige odavam variant kogemuste saamiseks või harjutamiseks? Selleks tänapäeval võib kasutada erinevaid simulaatoreid.

Simulaator Suurbritannia sõnastiku järgi on seade või süsteem, mis imiteerib reaalse protsessi spetsiifilisi tingimusi või omadusi, või seade, mille eesmärk on uurimistöö või kogemuse saamine. [1] Simulaatori süsteemi kutsutakse tihti virtuaalseks simulaatoriks. Virtuaalne simulaator on virtuaalne programm, mille eesmärgiks on imiteerida mingit tegevust võimalikult reaalset. Virtuaalsed simulaatorid on tehtud virtuaalse mängu kujul. Neid kasutatakse oskuste õppimiseks ja kogemuste saamiseks, mida võib pärast kasutada realses situatsioonis. [2] Virtuaalsete simulaatorite erinevused tulenevad masina tüübist mida nad simuleerivad. Ja mitte ainult masinate simulaatorid on kiiresti levinud. Praegusel hetkel võib leida palju erinevaid simulaatori variante, mõned nendest on põllumajanduse, lennujaama dispetšerid, raudtee simulaatorid. Käesolevas töös vaadeldakse võidusõidu auto simulaatorit.

Mis on võidusõidu simulaator? Võidusõidu simulaator on riistvara ja tarkvara kombinatsiooni alusel tehtud virtuaalne programm võidusõidu simuleerimiseks keskkonnas, kus imiteeritakse reaalse maailma füüsilisi jõude, mis mõjuvad autole. Võidusõidu simulaatoreile on vaja riistvara, nagu arvuti või mängu konsooli. Selle simulaatori juhikontrollerid sõltuvad riistvarast. Arvutite kontrolleriks on klaviatuur. Parema kogemuse saamiseks tuleb kasutusele võtta roolikomplekt. Tavaliselt käsipidur roolikomplekti juurde ei kuulu, seda kontrollerit müüakse eraldi.

Võidusõidu simulaator on täiesti vastand tavalise võidusõidu arvuti mängudele, kus kõik on tehtud nii, et tavaline inimene võiks hakkama saada sõitmisel, kus simulaatori võidusõidu tarkvara on täpsem ja annab veojõu tunnetuse. Sellepärast peavad autojuhid kasutama samu

meetodeid ja oskusi nagu reaalses võidusõidus. Autojuht peab simulaatoris hoidma autot balansis, selleks et säilitada veojõud kõikidel neljal rattal, jälgida kõige kasulikumat rada kõige parema resultaadi saamiseks. Simuleeritud võidusõit võib anda realistlikke kogemusi. Paljud algajad ja huvilised kasutavad meeleldi seda meetodit tehes oma esimesi samme autojuhtimisel.

1.2. Seisupidur, käsipidur ja nende kasutamine

Sõidukite tehnoloogilise arengu tõttu tänapäeval on arenenud erinevad pidurdamise viisid. Kõige esimesed pidurid leiutati juba ammu enne esimesi mehhaniseeritud sõidukeid (rongid, autod), neid kasutati mägistel teedel hobuvankritele ja käsikärudel. Hiljem tulid käsipidurid kasutusele ratastel.

Eesti mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele § 3, punkti 86 järgi seisupiduri definitsioon on järgmine: „Seisupidur on pidur, mis kindlustab sõiduki püsimise paigal ka teekaldel, kusjuures juhi kohalolek ei ole vajalik. Seisupidur peab toimima ratastele otseselt, mehhaaniliselt.“. [3] Käsipidur on Eesti õigusaktide järgi on määratletud mootorratta esiratta pidurina. Kui argikeeles seda terminit kasutatakse seisupiduri sünonüümiks. [4] Antud töös on tarvitatud terminit „käsipidur“, seadme kirjeldamiseks. Selle projekti raames ei kvalifitseeru seade seisupidurina Eesti seaduse järgi.

Pidur on kõige tähtsam turvalisuse süsteem, mis on olemas igal sõidukil. Pidurite põhiline eesmärk on tagada vajadus vähendada sõiduki kiirust ohtlike olukordade ilmumisel liikluses või täielikuks peatamiseks nii mägiteedel, tänavatel linnades kui asulavälistel teedel.

Rallisõidul mängib käsipidur suurt rolli. Tänu selle pidurile on võimalik blokeerida tagarattaid ralliautol selleks, et teha ohtlikku pööret ja manöövrit. Käsipiduriga opereerimiseks rallisõitudel on vaja treenitud inimese ja masina koostööd. Sageli kasutatakse käsipidurit konkurentsivõime suurendamiseks juhtimisel ning selle abil on saavutatud häid tulemusi nii ralli kui *drifting* sõitudel.

1.3. Simulaatori käsipiduri tüüpidega ülevaade

Enne oma lahenduse pakkumist tuleb analüüsida kõiki simulaatori käsipidurite tüüpe, mis on kättesaadavad turul sellel töö kirjutamise ajal. Kättesaadav on põhimõtteliselt kolm simulaatori käsipiduri tüüpi. Igal tüübil on omad plussid ja miinused.

Esimene tüüp on tavaline käsipidur (joonis 1), mis kasutab potentsiomeetrit. Selle käsipiduri hinnaklass on kõige madalam, sest selle kompleksuse koostamine ei ole töömahukas. Tavalise potentsiomeetriga simulaatori käsipidur koosneb kangist ja potentsiomeetrist. Terve konstruktsioon on ühendatud analoog väljundiga. Selle käsipiduri komponendid on paigaldatud kinnisesse korpusesse. Korpus võimaldab kahte kinnitamise viisi. Tootja: *Fanatec*.



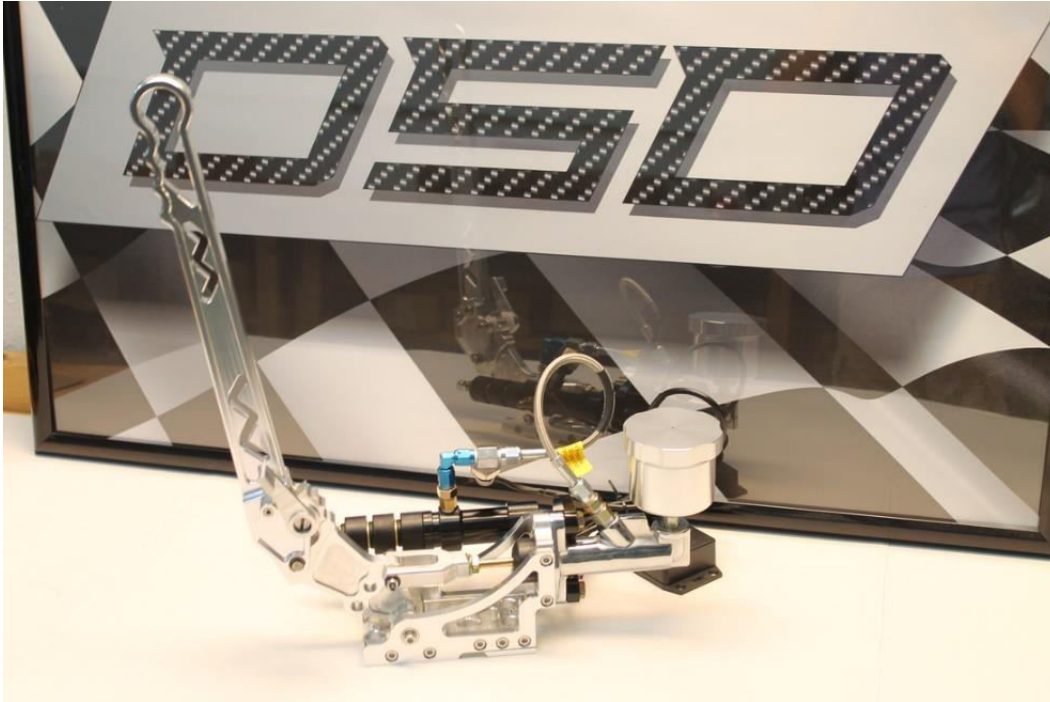
Joonis 1. Simulaatori käsipidur potentsiomeetriga [5]

Teine simulaatori käsipiduri tüüp kasutab koormusandurit koos süsteemiga (joonis 2), mis annab käsipiduri tunnetust või tagasisidet. Terve seade koosneb kangist, koormusandurist ja kontrollerrist, mis on ühendatud *USB*-ga otse simulaatori arvutisse. Käsipiduri efektiivse tunnetuse annab kummipuhver, mis on paigaldatud kangi ja koormusanduri vahele. Tootja: *Heusinkveld engineering*.



Joonis 2. Simulaatori käsipidur koormusanduriga [6]

Kolmas ja viimane simulaatori käsipiduri variant on hüdrauliline käsipidur (joonis 3), mis imiteerib reaalse käsipiduri ehitust. See on oma ehituselt kõige kallim ja keerulisem variant, mida võib tellida interneti vahendusel selle töö kirjutamise ajal. Seda tüüpi piduri ehitus on kõige keerukam võrreldes kahe eelmise variandiga. Kang on ühendatud ühe hüdrosilindriga, mida nimetatakse peasilindriks. Ühel poolel on silinder ühendatud õlikonteineriga (õlipaagiga). Teisele poolele on kinnitatud kang. Mõlemad silindrid on ühendatud voolikuga andurisse (*transdusor*-isse) mis teisaldab rõhu muutumise analoogsignaalsiks. Teise silindri nimi on töösilinder. Selle silindri peaülesanne on anda tunnetust või tagasisidet kasutajale. Seda võimaldab kummipuhver, mis on kinnitatud töösilindri küljele. Tunnetust saab reguleerida. Andur edastab surve muutust analoogsignaalina kontrollerrisse. Kontrollerr on ühendatud simulaatori arvutiga *USB* juhtme kaudu. Tootja: *Derek spear design (DSD)*.



Joonis 3. Hüdrauliline simulaatori käsipidur [7]

Igal käsipiduri tüübil on oma positiivsed ja negatiivsed küljed, kõiki kolme tüüpi tuleb võrrelda omavahel selleks, et leida sobiv lahendus käesoleva töö jaoks, vaadeldes ja võrreldes täpsemalt iga tüübi võimalusi. Pärast võrdlemist tuleb valida lahendus, mis rahuldab etteantud eesmärgi.

1.3.1. Võrdlus

Kõiki simulaatori käsipiduri tüüpe võrreldakse omavahel kuues kategoorias:

1. tagasiside
2. tagasiside jõu reguleerimine
3. suurus
4. hooldus
5. arvutiga ühendamine
6. hind

Nende tulemuste järgi saab valida kõige parema lahenduse selleks tööks.

Tabel 1. Käsipidurite võrdlus erinevates kategooriates

Võrdluse kategooriad	Potentsiomeeter	Koormusandur	Hüdraulika
Tagasiside tunne	Vedru	Kummipuhver	Hüdrauliline silinder
Tagasiside jõu reguleerimine	Puudub	On olemas	On olemas
Suurus	Väike	Keskmine	Suur
Hooldus	Lihtne	Keskmine	Keerukas
Arvutiga ühendamine	Vajab lisa tarkvara	Vajab lisa tarkvara	Vajab lisa tarkvara
Hind	< 100€	100 – 250€	350 – 550€

Esimesena võrreldakse potentsiomeetri ja koormusanduriga simulaatori käsipidureid tabel 1 järgi. Potentsiomeetri variandil on lihtne konstruktsioon võrreldes teise variandiga. Väike ja praktiline seade, mida saab paigutada kas toolile, lauale või spetsiaalsele raamile. Võrreldes eelmisega on koormusanduriga käsipidur oma ehituselt keerulisem. Seadme tüüp on suurem aga ikkagi võimaldab erinetavaid kinnitusvõimalusi, nagu potentsiomeetriga seade. Järgmisena tuleb võrrelda hüdraulilist simulaatori käsipidurit teiste variantidega. Tagasiside kvaliteet hüdraulilisel süsteemil on parem kui koormusanduril. Hüdrauliline käsipidur sarnaneb tõeliste käsipiduritega, mida kasutatakse ralliautodes. Tänu komplekssele konstruktsioonile annab selline simulaatori käsipidur väga sarnase tunde tegelikkusega. Hüdraulilisel käsipiduril on kõige keerulisema ühendusega tagasisidesüsteem.

Koormusanduriga käsipidur on väike võrreldes hüdraulilisega. See muidugi on positiivne omadus, kui simulaatoril on vaba ruum. Hüdraulilisel käsipiduril on kinnitamisega probleemid, tänu selle suurusele. Seda tüüpi käsipidurid ei ole nii kompaktsed, et neid saaks kasutada väikesel pinnal käigukasti kõrval.

Kõige tähtsam selle töö raamis on tagasiside tunne, mida on võimalik saada käsipiduri kasutamise ajal. Potentsiomeetriga käsipiduri tagasiside mehhanism on lihtne oma konstruktsioonilt. Terve tagasiside koosneb vedrust. Koormusanduriga on teine lugu. Antud süsteem tarvitab kummipuhvreid, mis annavad tagasisidet ja on lähedasem reaalse käsipiduri tundele. Kogu seade on kinnitatud simulaatori istme parempoolsele küljele. Selline lahendus täidab oma eesmärgi. Selles mõttes on vaja muuta tagasiside tunnet ja tuleb kasutada

spetsiifilised valmistatud kummipuhvreid. Kummipuhvrid saavad anda tagasisidet ainult elastsuse piirides. Hüdraulilise simulaatori käsipiduri ehitus on sarnane ralliauto käsipiduriga, mis võiks anda ligilähedase sarnase tunnetuse kasutamise ajal. Tagasisidesüsteem kasutab kahte silindrit – üks on rõhu edasiandmiseks käsipiduri kasutamisel. Teise silindri põhimõte on tagasiside tunnetamine. Tunnetust saab reguleerida regulaatorkruvi keeramisega. Tagasiside reguleerimine on lihtsamaks tehtud hüdraulilisel süsteemil, kus on võimalik tagasisidet reguleerida lihtsa reguleerimismutri keeramisega. Koormusanduriga seade tuleb lahti võtta ja kummiplakk reguleerida.

Potentsiomeetriga käsipiduri hooldus on minimaalne. Koormusanduriga käsipiduri hooldus on seotud kummipuhvri vahetamisega ja seadme uuesti häälestamisega pärast kummipuhvri vahetamist. Selleks, et vahetada kummipuhvreid, mis annavad tagasisidet, tuleb eemaldada käsipiduri seade. See ei ole kõige parem lahendus, sest see võtab aega ja vajab lisatööd. Hüdraulilise käsipiduri hooldus võiks muutuda problemaatiliseks, kui terve konstruktsioon on keerukam ja koosneb suuremast detailide arvust. Siin võib tekitada probleem õlikonteineri lekkimine. Täpsemalt tuleb jälgida hüdraulilistel mudelitel silindrite, voolikute ja õli paagi seisukorda ja nende vahetamine võib olla keerukas, aegavõttev ja kulukas.

Potentsiomeetriga simulaatori seadmel on kõik väga lihtne tuleb installeerida vajalik tarkvara ja ühenda kontrolleriga. Kontroller ühendub *USB* juhtmega simulaatorite külge. Iga simulaatori riistvara jaoks on vaja installeerida lisatarkvara – draiverit, selle riistvara korrektse funktsioneerimise jaoks. Muidugi on juhtumid kus simulaatori riistvara draiverit ei ole vaja installeerida. See juhtub siis, kui simulaatori riistvara kasutab universaalset draiverit, mis võiks olla juba installeeritud arvutil teise seadme jaoks. Koormusanduriga käsipidurile on vaja installeerida lisatarkvara, sest see seade kasutab lisakontrollerit. See lubab simulaatoril aru saada analoogsignaalist. Arvuti ühendamisel hüdraulilise käsipiduriga on samad probleemid nagu koormusanduriga seadmel, selle lugemiseks on vaja digitaalsignaali. Rõhuandur (*transducer*) konverteerib rõhu muutumist analoogsignaals, seda kasutab kontroller, mis konverteerib selle digitaalsignaals. Selle jaoks tuleb installeerida simulaatori arvutil draivereid, mis töötavad koos kontrolleritega.

Potentsiomeetriga käsipidur on rohkem tehtud algajatele, kes tahavad ehitada võidusõidu simulaatorit. Seda näitab hinnaklass. Antud käsipiduri mudel on kõige odavam lahendus võrreldes teise variandiga, mis on odavam kui 100 eurot. Koormusanduriga käsipiduri

simulaator on keskmises hinnaklassis – 100 kuni 250 eurot. Koormusanduri käsipiduri kõrge hind on tingitud selle konstruktsioonist. Materjalid ja nende töötlemine tõstavad selle variandi omahinda. Keeruline ehitus võimaldab palju erinevaid konfiguratsioone kasutajale. Hüdraulilised simulaatori käsipidurid on kõige kallimad käsipidurid, mida saab osta hinnaklassis umbes 350 – 550€.

1.4. Projekteerimistingimused

Lahenduse valimisel tuleb meeles pidada antud töö eesmärgid, mida tuleb täita. Lahendus peab olema lihtne, kompaktne, vastupidav, mugav ja majanduslikult kättesaadav. Konstruktsioon ei pea olema liiga keeruline, selleks et tavaline tarbija võiks seda seadet kasutada ilma lisa käsitus õpetuseta. Hooldus peaks olema lihtne ja majanduslikult odav. Lõplik toode peab olema arusaadav igale kasutajale – lihtne disain, konstruktsioon, ühendus simulaatori arvutiga, tugev kinnitus, kindel ehitus, ja mugav kasutamise ajal. Seade peab olema kompaktne selleks, et mahtuda simulaatoris spetsiaalsele platvormile. Selle platvormi aluseks on võetud simulaatori istme *Playseat* lisand *Playseat gear shifter holder pro* (joonis 4).



Joonis 4. Playseat võidusõidu istme lisand, Playseat gearshifter holder pro [8]

Kinnituse aluseks oli valitud antud istme lisand, sest iste ise on üks levinum simulaatori iste turul. Lisand on spetsiaalselt tehtud simulaatori käigukasti hoidmiseks, või käsipiduri hoidmiseks - see sõltub simulaatori ehitusest. Selle projekti raamis tuleb käsipidur valmistada kinnitusviisiga, mis sobiks antud *Playseat* tooli lisandisse.

Käsipiduri kangi positsioon peab olema standardiseeritud, sest paljudel võidusõidu autodel on need kangid ettemääratud positsioonides (joonis 5). Selle pärast Playseat istme lisand on valitud selle seadme kinnitamise positsioonide määramise jaoks. Juhul, kui simulaatori kasutaja on kaua aega kasutanud käsipidurit vales positsioonis, võivad tal tekkida raskused reaalse võidusõiduauto kasutamisel.



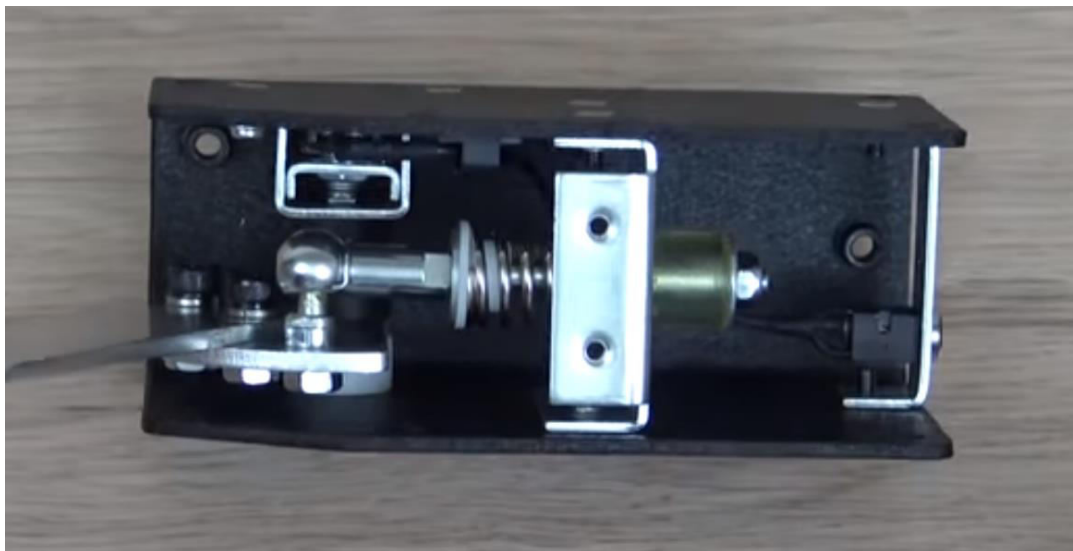
Joonis 5. Käigukasti kangi ja hüdraulilise käsipiduri kangi paigaldus ralliautodel [9]

1.5. Tagasiside lahenduse võrdlus

Pärast kaubanduses olevate variantide võrdlust tuleb ära määrata järgmised võimalikud lahendused:

1. Mehaaniline käsipidur koos tagasiside vedruga
2. Mehaaniline käsipidur koos tagasiside kummipuhvritega
3. Hüdrauliline käsipidur
4. Mehaaniline käsipidur koos tagasisidevedruga ja kummipuhvriga

Esimesena vaadatakse simulaatori käsipiduri lahendust, mis kasutab vedru tagasiside tunde andmiseks (joonis 6). Selle variandi ehitust võib minimiseerida detailide vähendamisega, mida tuleb vahetada ja reguleerida – hooldus on lühendatud. Tagasiside reguleerimine koos vedru vahetamisega on võimalik teha ühe regulaatoriga. Vedrud on rohkem levinud kui kummipuhvrid ja neid saab leida erinevates poodides vastavalt vajadusele. Vedru tüüpe on palju, mis on erinevalt kalibreeritud ja on erinevates mõõtmetes. Terve seadme lõplik variant võib olla väiksem ja kompaktsem kui hüdrauliline variant. Tänapäeval on erinevaid vedrude tüüpe ja vorme, mis muudavad selle seadme variandi kompaktsemaks võrreldes hüdraulilise seadmega. See aitab saavutada lõppeesmärgi. Negatiivseks küljeks võib nimetada antud fakti, et seadme tüüp võib vajada vedru, mille kättesaamine võiks olla raskendatud.



Joonis 6. Tagasisidesüsteem vedruga [10]

Järgmisena vaadatakse simulaatori käsipiduri varianti, mis on sarnane tüüpiliselt kättesaadav kauplustes selle töö kirjutamise ajal. See variant kasutab spetsiaalselt tellitud ja tehtud kummipuhvrit (joonis 7). Selle variandi positiivsed küljed on sarnased vedru variandiga.

Seade on suhteliselt kompaktse konstruktsiooniga. Kummipuhvri suurused võivad varieeruda valmistamise materjalide omadusest lähtuvalt. Negatiivsed küljed sellel variandil on, et kummipuhvrid ei ole nii kättesaadavad võrreldes vedrudega. Kummipuhvrit, mis on eritellimusel valmistatud ei saa osta kaubandusvõrgust. Iseseisvalt, juhuslikust materjalist valmistatud kummipuhvrid ei garanteeri kõige paremat tulemust simulaatori kasutamisel.



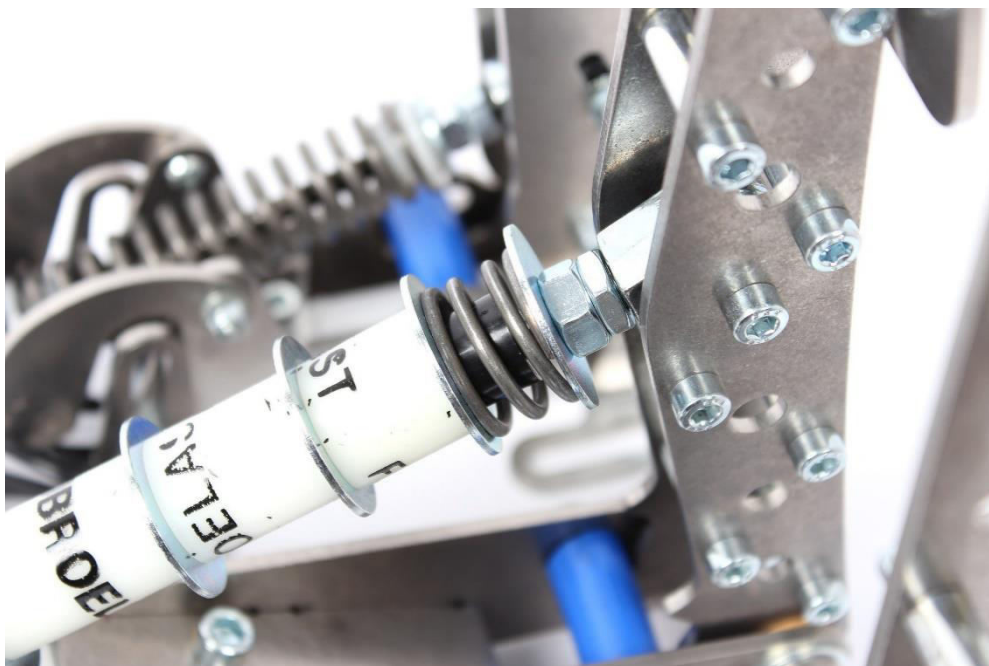
Joonis 7. Tagasisidesüsteem kummipuhvriga [6]

Lahendusena võib kasutada täiesti hüdraaulilist süsteemi simulaatori käsipiduriks (joonis 8). See käsipiduri variant on kõige suurem, mis võib muutuda probleemiks kui arvestada simulaatori teiseta seadmete paigaldust. Simulaatori käsipidur peab olema juhi istme paremal poolel koos käigukangiga, see võib tuua lisaraskusi seadme disainimise faasis. Simulaatori istme lisandil *playseat gearshifter holder pro-1* ei ole palju ruumi niisugusele käsipidurile, kui kasutada seda lisandit ainult käsipiduri jaoks. Selle variandi koostamise ja hooldamise hinnad on kõrgemad võrreldes teiste variantidega. Hüdraulilised silindrid on kallid komponendid. Selle käsipiduri hooldus on keerulisem, kui teisel variantidel mida võib alternatiivselt kasutada. Hüdraulilisel süsteemil tuleb jälgida õli taset, vajadusel seda lisada. Üks faktor, mida tuleb samuti jälgida, on vooliku seisukord.



Joonis 8. Hüdrauliline tagasisidesüsteem [7]

Viimasena vaadatakse simulaatori käsipidurit, mis kasutab tagasisidesüsteemi, mis koosneb vedrust ja kummipuhvrast (joonis 9). Tervel tagasisidesüsteemil on samad plussid ja miinused nagu süsteemidel, milles kasutatakse vedru ja kummipuhvrit eraldi. Seade, mis kasutab kummipuhvreid ja vedrusid koos, võib olla kompaktne. Korrekse kummipuhvri ja vedru valikuga antud süsteemis võib olla väiksema suurusega võrreldes teiste variantiga. Enne tuleb välja arvutada vajalikud vedru ja kummipuhvri mõõdud ning nende parameetrid. Seadme suurust mõjutab andur, mis fikseerib käsipidurikangi asendi muutmist. Kui andur on oma mõõtmetelt suur, siis ei ole see konstruktsioon eelistatud teistele variantidele. Sarnane lahendus on kasutusele võetud simulaatorite piduripedaalide projekteerimisel.



Joonis 9. Hübrid tagasisidesüsteem, koosneb vedrust ja kummipuhvrast [11]

Pärast tehtud võrdlust oli tehtud järgmised järeldused:

Hüdrauliline käsipidur on liiga suur etteantud simulaatori istme lisandi jaoks. Lisaks selle variandi tootmine ei ole otstarbekas. Seda on komponentide kõrge hinna tõttu. Hoolduse kulu on suurem kui teistel variantidel.

Mehaaniline käsipidur koos kummipuhvri tagasisidega võib mahtuda etteantud suuruse piiridesse. See on võimalik kui selle seadme ehitus on korrektselt tehtud. Spetsiifilise kummipuhvri kättesaadavus on selle variandi üks negatiivne osa. Kui teha kummipuhvrid juhuslikust materjalist iseseisvalt, siis tuleb arvestada materjali omadustega ja sellega, kuidas need töötlemisel käituvad.

Mehaaniline käsipidur koos vedru ja kummipuhvri tagasisidega on kõige sobivam variant selle töö tegemiseks. Paljude erinevate vedrude, kummipuhvrite ja pukside tüübid annavad seadmele suurt paindlikust tagasiside tundega. Mõlemad osad selles süsteemis mängivad tähtsat rolli. See on selle pärast, et trossi käsipiduril on kaks faasi, mida võib tunda selle kasutamise ajal. Esimene faas on tuntav käsipiduri tõmbamisel kuni hammasvöö kontaktini. Teine faas on tuntav sellel hetkel millal hammasvöö kontakt algab kuni käsipidurikangi lõpp-punktini. Selle simulaatori käsipiduri ehitusel esimest faasi simuleerib vedru, teist faasi kopeerib kummipuhver. Vedru, mis asub esimeses osas antud süsteemis simuleerib kangi

liikumise algust ja tagastab käsipiduri kangi tagasi algpositsiooni. Teise faasi simuleerimiseks kummipuhver piirab kangi liikumist ja ei lase seda üle tõmmata ja kahjustada analoogandurit. Sarnane süsteem on kasutatud simulaatori pedaalide konstrueerimisel. Täpsemalt antud lahendus on rakendatud piduri pedaalil. Piduri pedaalil vajutamisel on ka kaks hästi tuntavat faasi.

Käsipiduri koostamine võib muutuda küllaltki aeganõudvaks, eriti kui konstruktsioon koosneb paljudest detailidest. Sellepärast tuleb vältida toote keerulisust. Niisugune lahendus mõjub positiivselt tootele – see vähendab materjali kulusid, koostamis- ja hooldusaega. See puudutab mitte ainult tagasisidesüsteemi, vaid tervet käsipiduri konstruktsiooni. Vedrude kättesaadavus annab sellele variandile eelise, aga spetsiifilise parameetritega kummipuhvri kättesaamine on keeruline sellele asemele võib leida mõne teise alternatiivi autotööstusest. Iga analoog simulaatori käsipiduri tüübi jaoks on vaja kontrolleri ja selle projekti jaoks võib kasutada *arduino*-t plaate. Sellisel juhul controllerile tuleb kirjutada draiver, selleks, et arvuti korrektselt loeks seadet. Tagasisidesüsteemi tüüp on valitud, järgmisena tuleb valida konkreetne andur, mis fikseerib käsipidurikangi positsiooni ja selle liikumist.

1.6. Andurite ülevaade

Analoogsimulaatori käsipidur ei saa funktsioneerida ilma andurita, mis fikseerib käsipidurikangi positsiooni. Selle anduri puudumisega käsipidur simulaatori jaoks muutub kangiks. Eksisteerivad paljud erinevaid andurid, mida võib kasutada selle projekti täitmisel. Näiteks võib kasutada koormusandurit nagu juba analüüsitud teise käsipiduri tüübis. Kolmandale analüüsitud käsipiduri tüübile (hüdrauliline käsipidur) analoogsignaali andur ei sobi, kuna selle töö tegemiseks oli valitud mehaaniline käsipiduri tüüp kus tagasisidet teeb vedru koos kummipuhvriga, mitte hüdrauliline käsipidur. Rõhuandurite kasutamine on vajalik hüdrauliliste käsipidurite jaoks. Veel selle projekti lahenduseks võib kasutada positsioonandurit või asendi muundurit. Asendi muundurid on lai termin – selle nimetuse all on palju erinevaid muundurite tüüpe. Iga niisuguse muundurite tüübil on oma omadus, plussid ja miinused, mida tuleb arvesse võtta selleks, et täita ette antud töö eesmärged.

Järgmine samm konkreetse anduri valimiseks on kaks võimalust, mis olid pakutud enne: koormusandur ja positsioonandur. Koormusandur (*load cell*) on täpne andur, mille peamine

ülesanne on rakendud jõu fikseerimine [12]. Seda andurit saab kasutada selle töö piires. Igal käsipidurikangile tõmbejõu rakendamisel edastatakse andurile informatsiooni. Muidugi koormusanduritel on suur täpsus. Tänu sellele seda andurit kasutatakse kaalude koostamisel. Koormusandur on üks kõige kallim andur, mida võib osta. Ja see on suur miinus selle töös, sest simulaatori käsipidur peab olema piisavalt odav ja see andur suurendab koostamise hinda. Asendi andurite, kõige täpsem võimaliku tüüpide peaülesanne on positsiooni fikseerimine ja positsiooni muutumise määramine. Niisugune andur sobib antud projekti. Käsipiduri kangi asendi muutumist võib fikseerida mõne asendianduri abiga. Asendianduri täpsus varieerub selle tüüpest, mõned on väga tundlikud ja reageerivad isegi kõige väiksemale positsiooni muutumisele. Selline olukord ei ole muidugi iga anduri variantidega. Asendianduri hinnad varieeruvad: potentsiomeeter on kõige odavama hinnaklassiga selles kategoorias ja selline anduri tüüp hoiaks terve kooste hinna madalama. Muidugi on teised positsiooniandurid, kallimad kui potentsiomeetrid ja sellega tuleb arvestada positsioonianduri valimisel.

Tänu tehtud analüüsidele tekkisid järgmised järeldused: projekti raamis on koostamisel mõttekam kasutada asendiandurit koormusanduri asemel. Käsipiduri korrektseks töötamiseks ei ole oluline konkreetse jõu tähistus signaali edasiandmiseks käsipiduri asukohta asendi jaoks. Võib kasutada teisi andurite tüüpe. Kõige sobivamad on asendiandurid.

Kui on palju erinevaid asendite andureid, tuleb valida kõige optimaalsem variant, mis ei segaks etteantud ülesannet täitmast. Samuti peab see hästi sobima konstruktsiooniga ja olema majanduslikult kättesaadav. Asendiandurid ei peaks käsipiduri konstruktsioonile negatiivselt mõjuma ja valitud tagasisidesüsteemile. Selle töö jaoks on vaja määrata vedru positsioon võllil või käsipidurikangi positsiooni.

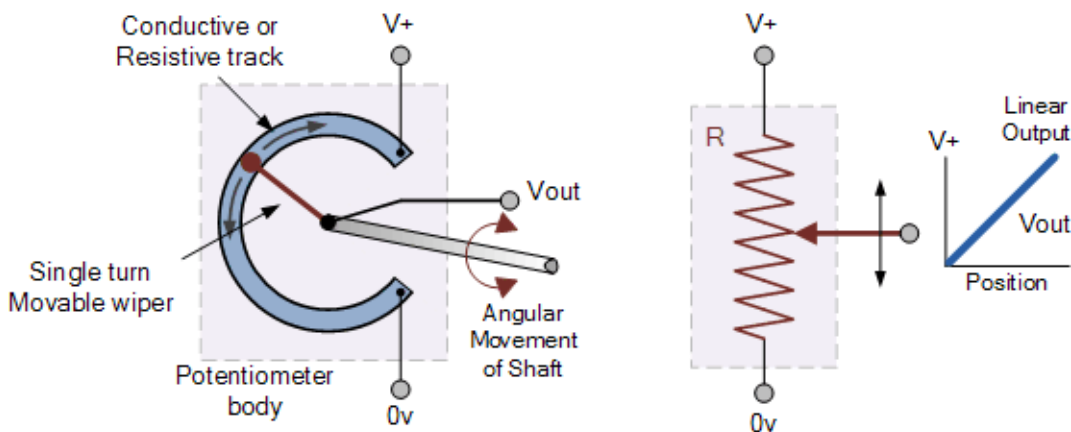
Asendiandur on seade, mis mõõdab kahe punkti vahelist kaugust või sihtmärgi asetust antud positsioonis. On olemas ka andur, mis mõõdab sihtmärgi positsiooni ja eelmise sihtmärgi positsiooni. [13]

Asendiandurite kategooriad:

1. Potentsiomeetrilased andurid
2. Induktiivsed ja vastastikku induktiivsed andurid

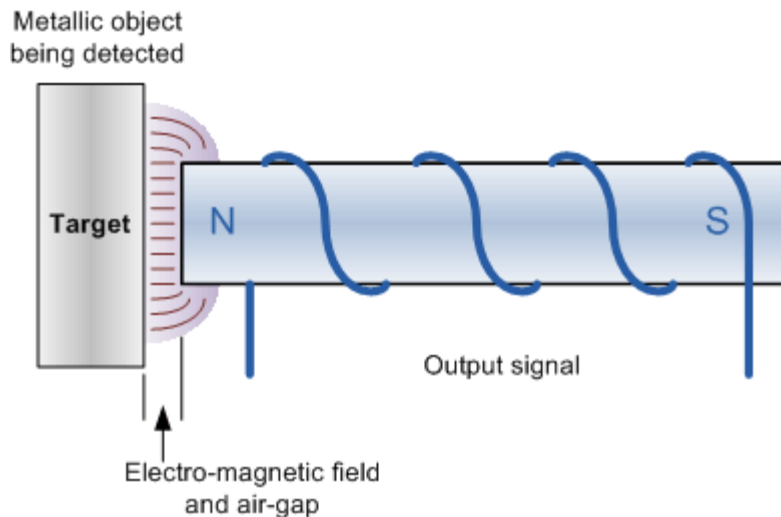
3. Absoluut enkooderid

Potentsiomeetrilased asendi andurid on kõige levinumad asendiandurite tüüpe (joonis 9). See on tänu sellele, et nende kasutamine on lihtne. Potentsiomeetrid on kõige odavamad võrreldes teiste positsiooni andurite kategooriast. Need andureid on kahte varianti: ümmargune ja sirgjooneline (joonis 10). Potentsiomeetri tööpõhimõte on takistuse muutumine liuguri ja kahe konnektori vahel. Liuguri liikumine muudab takistuse väärtust ja see muudab elektrilist signaali, mis on proportsionaalne liuguri ja liuguri raja vahelist väärtust. Nimetatud anduri positiivsed küljed: odav, lihtsasti kasutatav, suhteliselt väike. Negatiivsed küljed: saada kahjustatud mehaanilise liikumise tõttu, ei ole remonditavad. Mõlemat tüüpi potentsiomeetrid on keeruliselt monteeritavad antud seadmesse. [13]



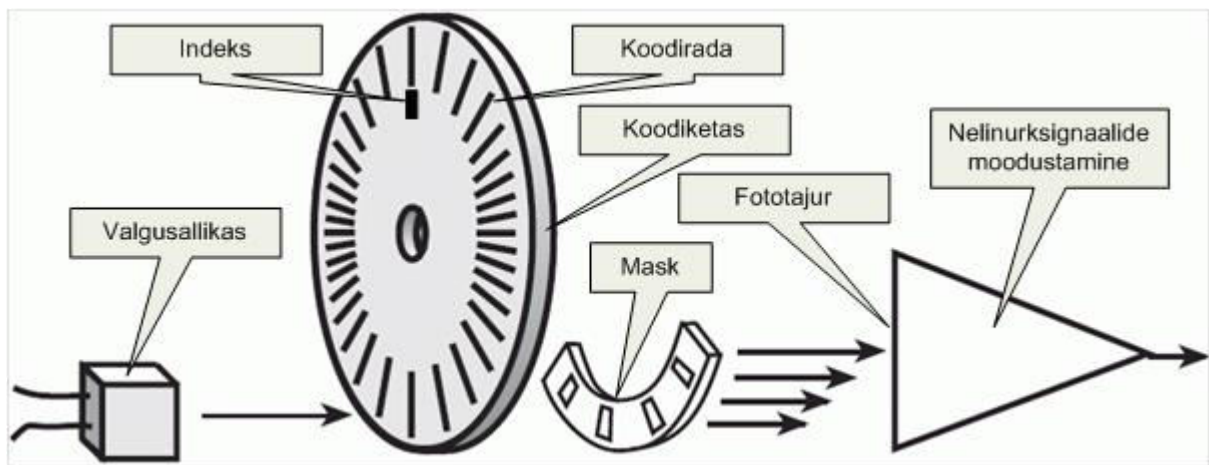
Joonis 10. Ümmargune ja sirgjooneline potentsiomeetri töö põhimõtte skeem [14]

Induktiivsed ja vastastikku induktiivsed andurid on positsiooniandurid, mis mõnikord nimetatakse „*Eddy current sensor*“-iks (joonis 11). Seda tüüpi andurid ei mõõda nihutamist vaid fikseerivad keha asendi anduri ees. Selle anduri tüüp on mehaanilise kontakti vaba – signaali saamiseks keha ei pea kontakteeruma anduriga. Keha positsiooni andurile annavad magnetväljad. Selle anduri negatiivsed küljed on, et see andur loeb igas positsioonis, mitte ainult objekte anduri aktiivse näo ees vaid ka selle ümber. Lisaks see sensor ei tunne mittejuhtivast materjalist objekte. Kui lõpliku konstruktsiooni tulevad liikuvad (juhtivad ja mittejuhtivad) objektid, siis see võib mõjutada selle sensori tundlikkust (joonis 10). [15]



Joonis 11. Induktiivse ja vastastikku induktiivse positsioonianduri põhimõtte skeem [14]

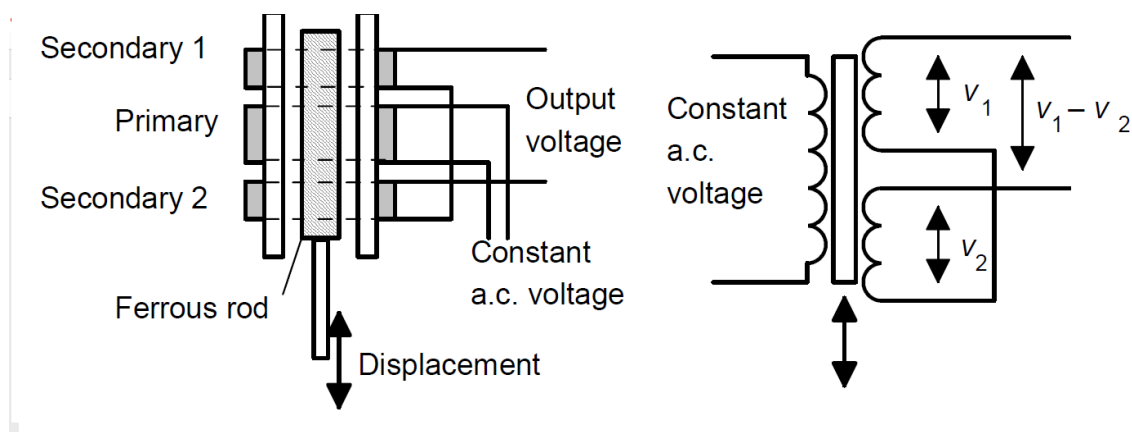
Inkrementaalandur on asendianduri tüüp, mis on sarnane ümmarguse potentsiomeetriga (joonis 12). Erinevus seisneb selles, et see on mehaanilise kontakti vaba optiline andur. See andur konverteerib pöörlemisel digitaal koodiks. See andur teisendab mehaanilist liikumist ja annab välja digitaalse koodi. Tööpõhimõtte seisneb selles, et LED lambi valgust läheb läbi inkrementaalanduri koodiraja ja maski fotoajurile. Fotoajur loeb saadud informatsiooni ja tekitab digitaalse koodi, tavaliselt binaarkoodi, mida saadetakse edasi.[16] Selle anduri tüübi negatiivsed küljed: suurus – võib negatiivselt mõjuda terve konstruktsiooni mõõtmetele, hind – on kuni 40 korda kallim kui potentsiomeetri maksumus.



Joonis 12. Inkrementaalanduri töö põhimõtte skeem [16]

Sirgjooneline muutuv diferentsiaaltrafo on üks tüüp asendiandurites kus mehaaniline liikumine ei mõjuta muundurit (joonis 13). See andur töötab sama põhimõttega nagu

vahelduvvoolu transformator, mis muudab liikumist. Selle anduri positiivne külg on täpsus. Selle anduri positsiooni muutumine on proportsionaalne südamiku positsiooni muutumisega. Antud anduri ehitus koosneb kolmest sümmeetrilisest paigaldatud keermetest milles liigub läbi *ferumi* südamiku, mis on paigaldatud võllile.[13] Negatiivsed küljed: selline anduri suurus on liiga suur. See andur ei mahu väikesse seadmesse. Selle anduri hind on kallim kui potentsiomeetri oma.



Joonis 13. Sirgjooneline muutav diferentsiaaltrago töö põhimõtte skeem [13]

1.6.1. Andurite valik projekteeritavale seadmele

Asendianduriga võrreldes võib antud projekti elluviimiseks välja tuua potentsiomeetri. Selle töö jaoks on vaja väikese gabariidiga andurit, mis võiks mahtuda suhteliselt väikesesse korpusesse. Kõik teised variandid, mis läbisid analüüsi, ei sobinud. Hind on ka üks tähtsaim faktoritest, millega tuleb arvestada. Isegi väiketootmises potentsiomeetri kasutamine aitab säästa finantse. Teiste võrreldud anduritega selles projektis potentsiomeetri paigaldamine ei ole eriti töömahukas. Täpsus ei mängi suurt rolli selles projektis, minimaalse käsipidurikangi positsiooni muutumisega, näiteks 2 kuni 4 mm liikumisega, ralliauto ei hakka pidurduma momentaalselt. Simulaatori keskkond on tehtud sellise olukorra simuleerimiseks. Sellepärast simulaatori käsipidur ei pea minimaalse positsiooni muutumisega simuleeritud ralliautot seiskama. Sellisele andurile on garanteeritud tsüklite arv, mille pärast detail ei hakka signaale edastama kulumise tõttu. Nende andurite eluiga on 1000 – 15000 tsüklit sõltuvalt anduri tootjast. Tänu selle anduri madalale hinnale on võimalik kasutada 15000 tsüklilist anduri varianti.

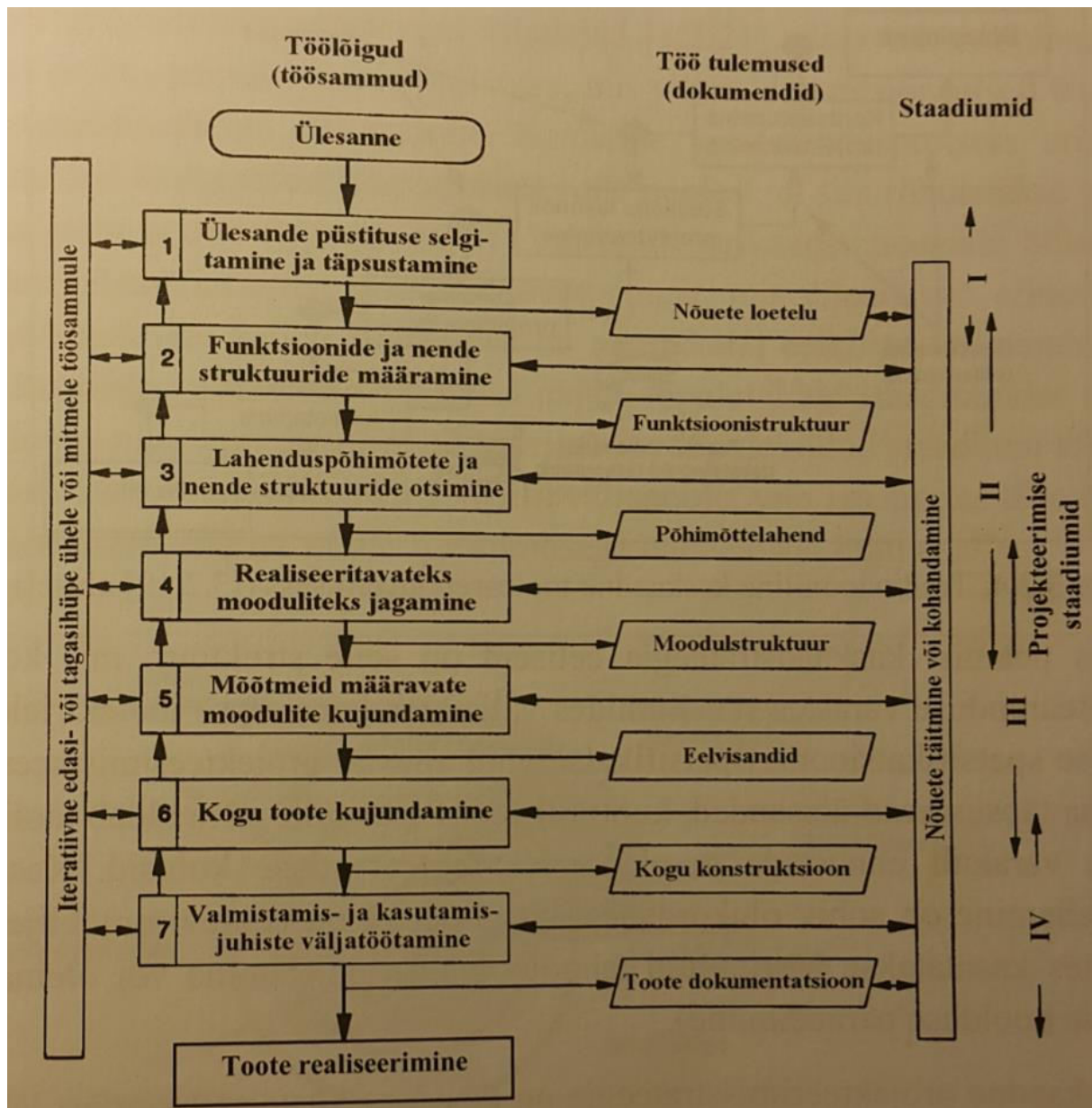
2. KÄSIPIDURI PROJEKTEERIMINE

2.1. Toote arendus

Tänapäeval toodearendus mängib suurt rolli toote planeerimisel ja eluviimisel. Tootearenduse mõiste oli formuleeritud ja võetud kasutusele 1970. aastate keskel. Sellel ajal arenes kiiresti suur maailmaturg, sellega koos kasvas ka konkurents. Toodearendus on toote uuendamise kiirendamise põhimõte, mida iseloomustab samaaegne sünergiapõhine tegevus toote turundusel, projekteerimisel ja toote tootmisel, mis võiksid olla maailmaturul konkurentsivõimelised. Selle laia mõiste alla kuulub termin toote projekteerimine. Toote projekteerimise all on järgmised mõisted, mis on tähtsamad toote arenduseks: strateegia, meetodika, mudel ja põhimõte. Projekteerimisstrateegia on etapiline lähenemine projekteerimisülesande lahendamiseks. Projekteerimisstrateegia, mis oli kasutatud selle töö kirjutamisel oli järjestikuse projekteerimise strateegia. Sellise meetodika arendasid Hubka, Eder ja Pahl, Beitz. Selline meetodika oli valitud, sellepärast, et see oli tehtud uute toodete arendamiseks. Projekteerimine toimub fundamentaaltasandil ja aitab kontsentreerida uue toote arengule. Sellise strateegia juhul on neli staadiumi:

- 1 – selgitada toote tööülesanne ja koostada spetsifikatsioon
- 2 – määratleda loogilised seosed ja luua toote funktsioonistruktuur
- 3 – leia parimad füüsilised protsessid toote funktsioonide täitmiseks
- 4 – määrata toote optimaalne kuju, kinemaatika ja materjalid, st toote kehastus.

Selline konstrueerimisstrateegia on võetud kasutusele Saksamaal. Täpsem selline strateegia on vormistatud *VDI* – juhisenä. *VDI 2221* on samm – orienteeritud projekteerimise meetodika, mis oli valitud selle projekti kirjutamise aluseks (joonis 14). [17]

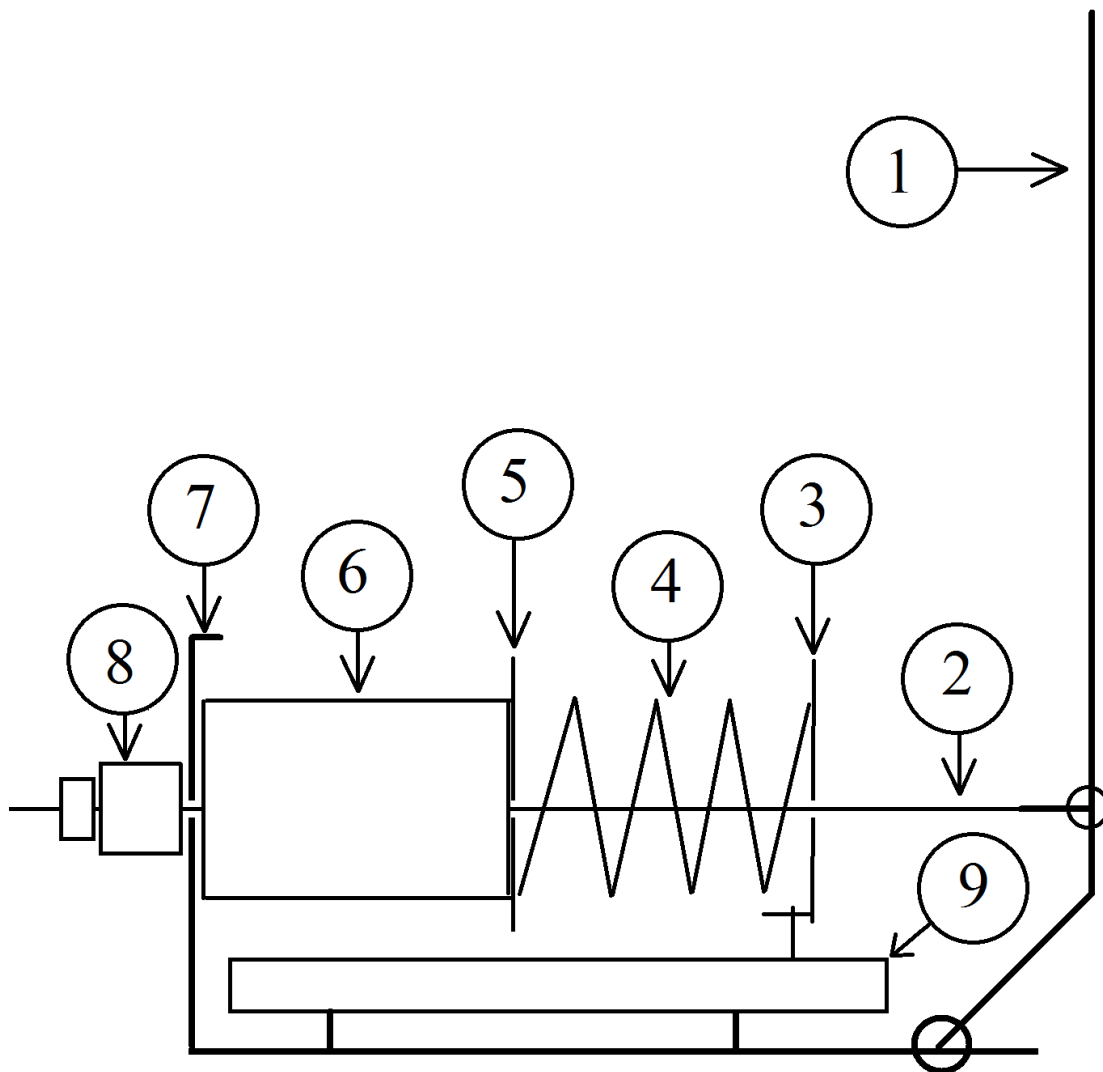


Joonis 14. VDI 2221 põhimõtte skeem [17]

2.2. Toote kujundus

Valitud projekteerimisstrateegia ja meetodika kasutamisel oli tehtud seadme projekteerimine (joonis 15). Esimeseks määrati toote spetsifikatsioonid. Antud seade peab olema analooganduriga, konstruktsioon peab olema lihtne, ühendus simulaatoriga peab olema kiire, kasutamine peab olema mugav kasutajate jaoks ja seadme tootmine peab olema majanduslikult kasulik.

Teiseks tuleb määratleda loogilisi seoseid – simulaatori käsipiduri tööpõhimõte on suhteliselt lihtne reaalse seisupiduriga võrreldes. Simulaatori käsipiduri kangile jõu rakendamisel „Cleevis GD“ pöörleva völli hoidja lukkab völli millele on kinnitatud tagasiside mehhanism. Tagasiside mehhanism koosneb vedrust ja kummipuhvrast. Vedru selles süsteemis peab olema koormatud positsiooni säilitamiseks. Kummipuhver peab olema sobiva suurusega, selleks et piirata potentsiomeetri liikumist. Planeeritud disainiga kummipuhver piirab potentsiomeetri liikumist üle võimaliku piiri – kaitseb potentsiomeetrit kahjustuste eest.



Joonis 15. Konstruktsiooni eskiis: 1 – käsipiduri kang; 2 – peavölli; 3 – seib potentsiomeetri keele fiksaatoriga; 4 – osaliselt surutud vedru; 5 – vedru vastas seib; 6 – kummipuhver; 7 – alusplaat; 8 – kummipuhver löögi summutamiseks; 9 – potentsiomeeter

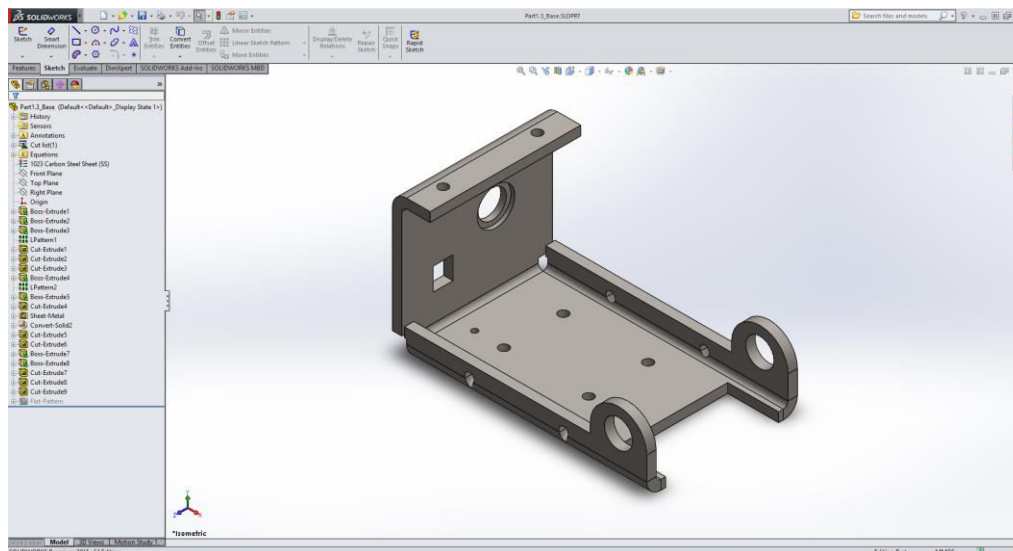
Käsi piduri alpositsiooni liikumisel tekib löök vastu korpust. Selle löögi vältimiseks tuleb kasutada kummipuhvrit väljaspool korpust. Selline lahendus lubab teha koormuse reguleerimist väljaspool korpust. Vedru ja kummi tiheduse pingete reguleerimine on tähtis selle seadme optimaalseks kasutamiseks. Pinge taseme reguleerimine muudab terve tagasisidesüsteemi väljundit. See lubab kasutajatele valida endale sobivat tagasiside tunnetust ilma tervet seadet lahti monteerimata. Seadme konstruktsioon peab olema kinnine – see väldib võimalikke kahjustusi, mis võivad tekkida kasutamise ajal. Korpuse alusplaadi ja kanna kinnitus peab lahendama tekkinud probleemi jõu mõjuga alusplaadi tagaseinale. Valitud konstruktsiooniga võib seda lahendada kui korpuse ülemine kaan paigaldada alumisele plaadile ja kinnitada kruvidega.

2.3. Modelleerimine

2.3.1. Kasutatud tarkvara

Simulaatori käsi piduri projekteerimiseks oli kasutatud raalprojekteerimise *CAD* tarkvara *SolidWorks*.

SolidWorks on kavandatud mehaaniliste projektide modelleerimise jaoks. Selles tarkvaras on võimalik projekteerida seadme komponente ja terve seadme koosteid. Seadme osade modelleerimiseks on *part* režiim. Komponentide kooste on võimalik teha *assembly* režiimil. Joonised olid ka tehtud antud tarkvaraga. Tarkvara *part* režiim on näidatud joonisel (joonis 16).



Joonis 16. *SolidWorks* part režiimis

2.3.2. Käsipiduri kang

Simulaatori käsipiduri kang on üks peamistest komponentidest selles töös. Sellepärast, et see on ainuke komponent millega kasutaja puutub kokku. Käsipidurikangi disain peab olema ergonoomiline (joonis 17). Juhul, kui tuleb teine simulaatori kasutaja, et temal ei tekiks vajadust selle seadme kasutamisel tunda ebamugavusi. Kui ebamugavused ikkagi tekivad siis universaalsus peab võimaldama seda ebamugavust eemaldada kiire reguleerimisega. Sellepärast reguleerimise võimalus oli lisatud disainile. Kahjuks reguleerimine on minimaalne. Asendi muutumine, mis oli valitud ei saa lahendada kõike probleeme, täieliku lahenduse võib lisada tulevikuvariantidele.

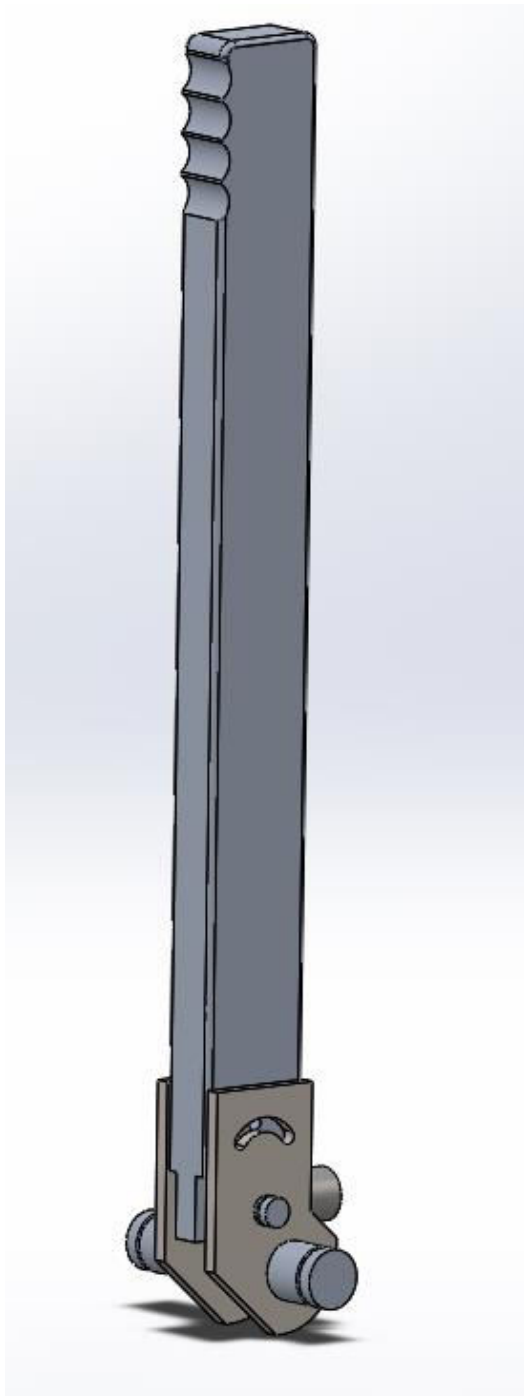
Käsipiduri kang koosneb kolmest osast: kangist ja kahest kinnituspurgast. Kangi pikkuseks on valitud keskmise hüdraulilise käsipiduri kangi pikkus. Antud juhul pikkus 40 cm.

Käsipiduri kangi materjaliks oli valitud alumiinium. Alumiiniumi sulamigrupi mida võiks kasutada antud projektis on $AlMgSi$ või AW seeria 2000. [18] $AlMgSi$ sulamigrupp elementide Si , Fe , Cu , Mn ja Mg on kasutusel. Nende elementide osakaal sulamis muutub konkreetse sulami margist. Selle grupi alumiiniumi sulami põhinäitajad on hea kül- ja kuumtöödeldavus, hea keevitatavus, korrosioonikindlus ja hea löiketöödeldavus. Tänu nende põhinäitajatele seda alumiiniumisulamit kasutatakse koormust taluvate

konstruktsioonide ehitustel, uste, akende kui ka toiduainete tööstuses, auto- ja masinaehituses. Antud sulamid on võimalik saada leht -, latt – ja toru vormis.

Käsi piduri kangi kinnitamiseks alusplaatiga on kasutatud võlli, diameetriga 20 mm. Võlli fikseerimiseks on kasutatud stopperseibe. Valitud disaini tõttu käsi piduri kang ei ole keskpunktis, vaid on paigaldatud rohkem vasakule poole. See on kontrolleri arendusplaadi paigalduse tõttu. Sellepärast kangi positsiooni hoidmiseks võllil oli paigaldatud distantstorud mõlemale küljele.

Käsi piduri disain võimaldab muuta kangi nurga positsiooni kasutaja mugavuseks vastavalt vajadusele. Antud lahendus suurendab käsi piduri paigalduspositsioonide arvu. Positsiooni fiksaatoriks on kasutatud polt mutriga. Kolme osalise simulaatori käsi piduri kangi hoidmine toimub völli ja selle fikseerimiseks on kasutatud stopperseibe.

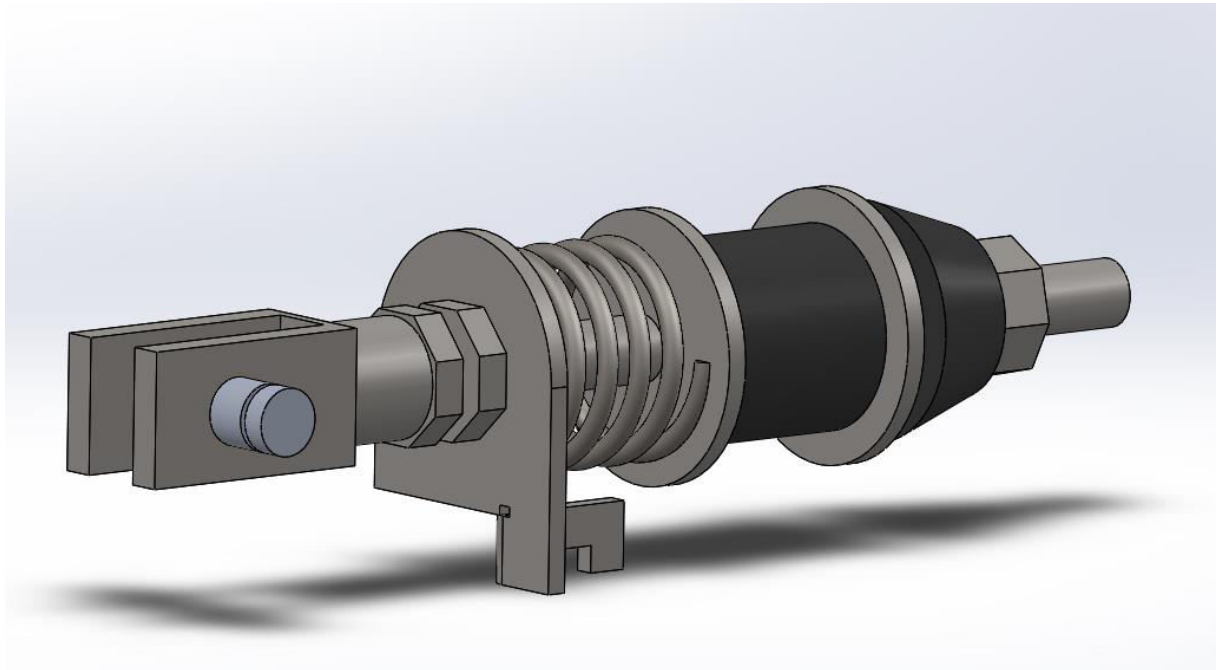


Joonis 17. Käsipiduri kang *SolidWorks*-is

2.3.3. Tagasisidesüsteem

Antud projektis tagasisidesüsteem koosneb võllist, mille peal on paigaldatud vedru ja kummipuhver (joonis 18). Vedru ja kummipuhvri vahele on paigaldatud seibid. Seibid, mis kontakteeruvad vedruga on koos faasiga, mis hoiab vedrud ettemääratud positsioonis. Kõige

esimene seib on spetsiaalse potentsiomeetri keele liikumise hoidjaga. Seadme väikse suuruse saamiseks tagasiside komponendid peavad olema väikse suurusega. Alusplaadi pikkus, kuhu on võimalik paigaldada antud süsteemi, on 100 mm. Tuleb arvesse võtta seibide summaarset pikkust. Vedru pikkuseks on valitud 30 mm ja kummipuhvri pikkus võib olla 30 mm.

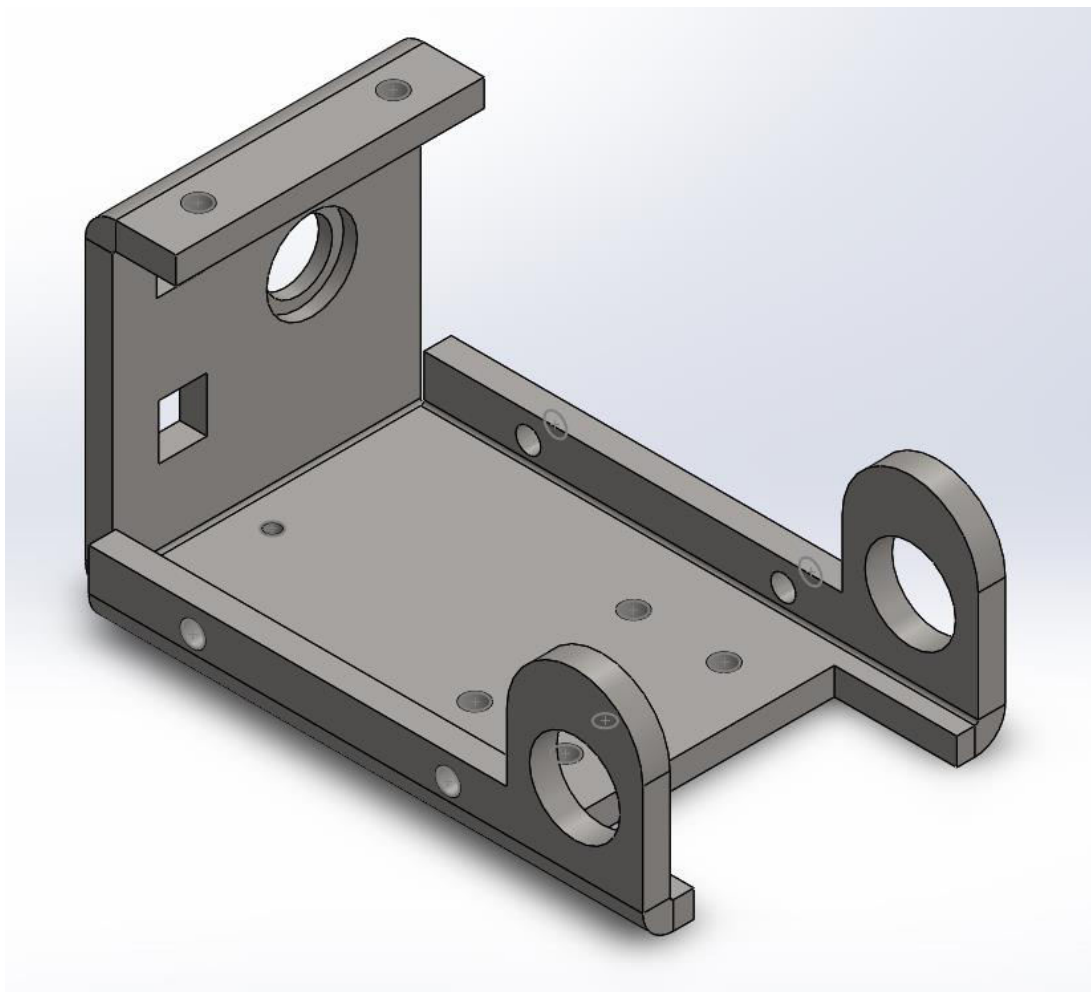


Joonis 18. Tagasisidesüsteemi mudel

2.3.4. Alusplaat

Simulaatori käsipiduri alusplaat on valmistatud lehtmetailist. Lehtmetaili materjaliks on teras, paksus antud töös on 6 mm (joonis 19). Teras margi valimiseks tuleb lähedal vaadata marke, mida võib kasutada selles projektis. Antud seadmele võiksid sobida kuumvaltsitud mittelegeerkonstruktsiooniterased. Selles grupist võib kasutada terase marki *EN 10025-2* või *S235JR*. Selle terase tüübi eelised on hea töödeldavus, keevitatavus, külm- ja kuumtöödeldavus. *EN 10025-2* ja *S235JR* teras marki kasutatakse ehitus- ja masinaehituskeeviskonstruktsioonides ja lihtsates masinaosades. Selle kategooria teras koosneb järgmisest elementidest: *C*, *Si*, *Mn*, *P* ja *S*. Nende elementide kombinatsioonid annavad sellele grupile omadusi, mis sobivad käsipiduri alusplaadi valmistamiseks. Antud terase marki võib saada leht-, latt-, traat- ja profiilvormis. [18]

Alusplaadile vajaliku kuju andmiseks on kasutatud lehtmetsalli painutamispinki. Seadme alusplaat ja tagasein on tehtud ühest lehtmetsalli lehest. Selline lahendus vähendab keevitamiskulusid. Kleepituda tuleb alusplaati ja tagaseina tekkinud tühimikud painde kohal. Seda tuleb teha konstruktsiooni stabiilsuse suurendamiseks. Need kohad on peavõlli ja korpuse kannal kinnitamiseks. Kruvide kinnitamise avad on väljapuuritud pärast painutamist.

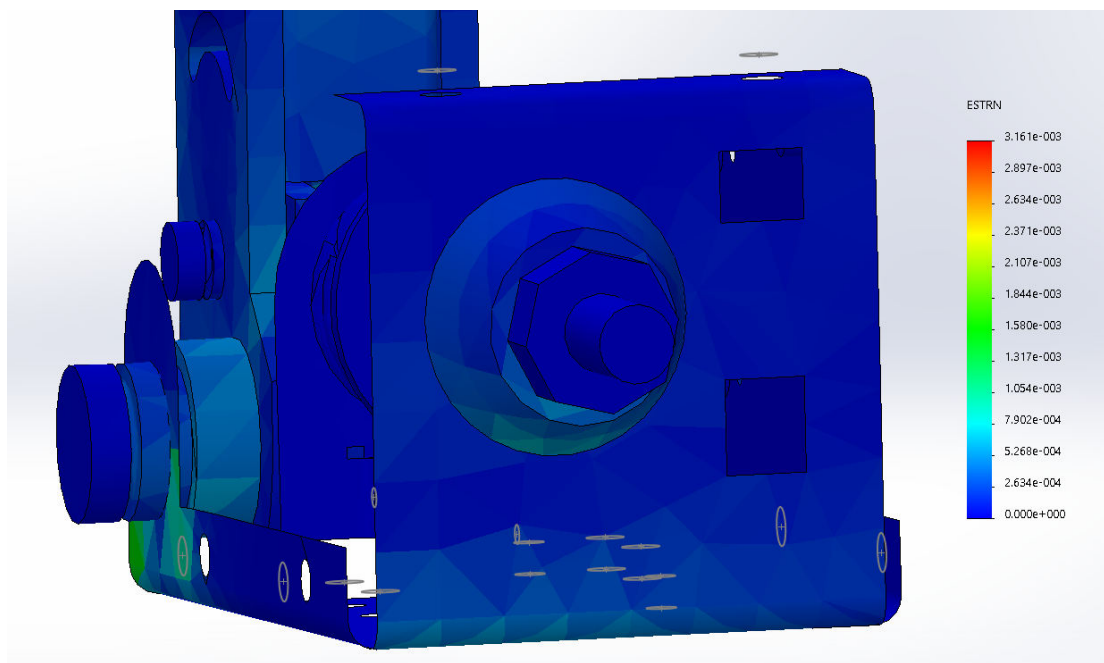


Joonis 19. Alusplaadi mudel

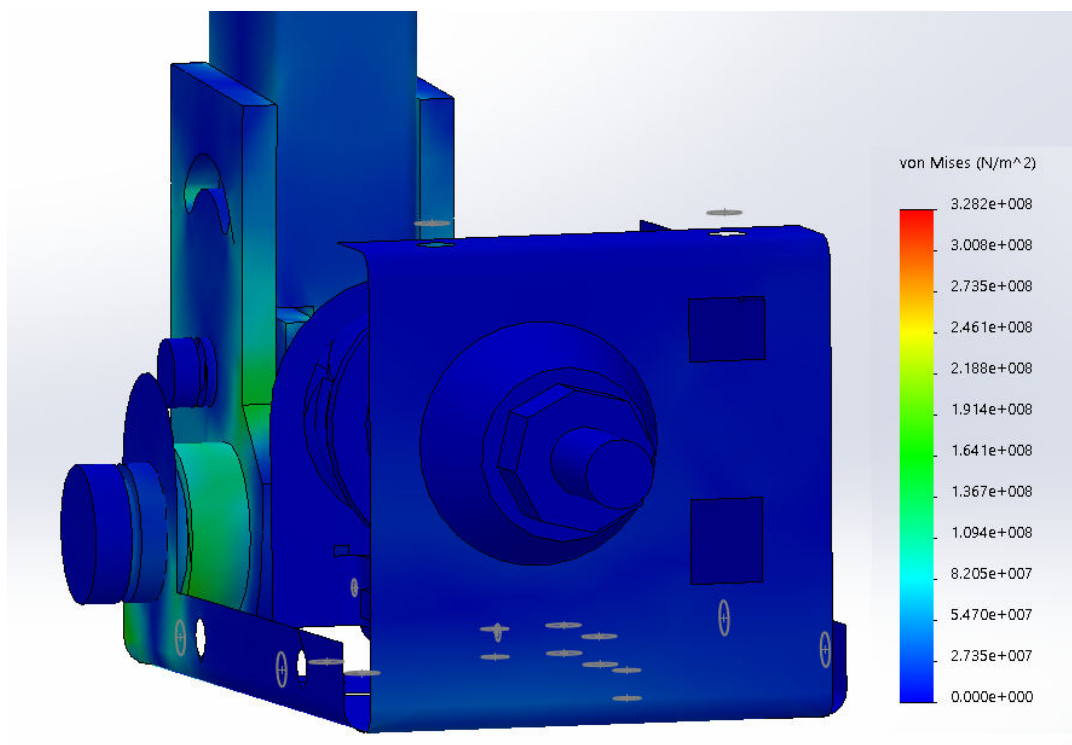
2.3.5. Alusplaati simulatsioon

Lisaks on tehtud tugevussimulatsioonid SolidWorks keskkonnas. Antud simulatsioonid on tehtud koormuse kontrollimiseks tagaseinas käsipiduri opereerimise ajal. Liiga suure jõu rakendamisel teoreetiliselt seadme korpus ei deformeeru. Selline simulatsioon aitab alusplaadi materjali valimist kinnitada. Simulatsioon viidi läbi seadme lõpliku mudeliga. Selleks mudeliks on võimalus valida erinevaid materjale ja vaadata kuidas antud materjal

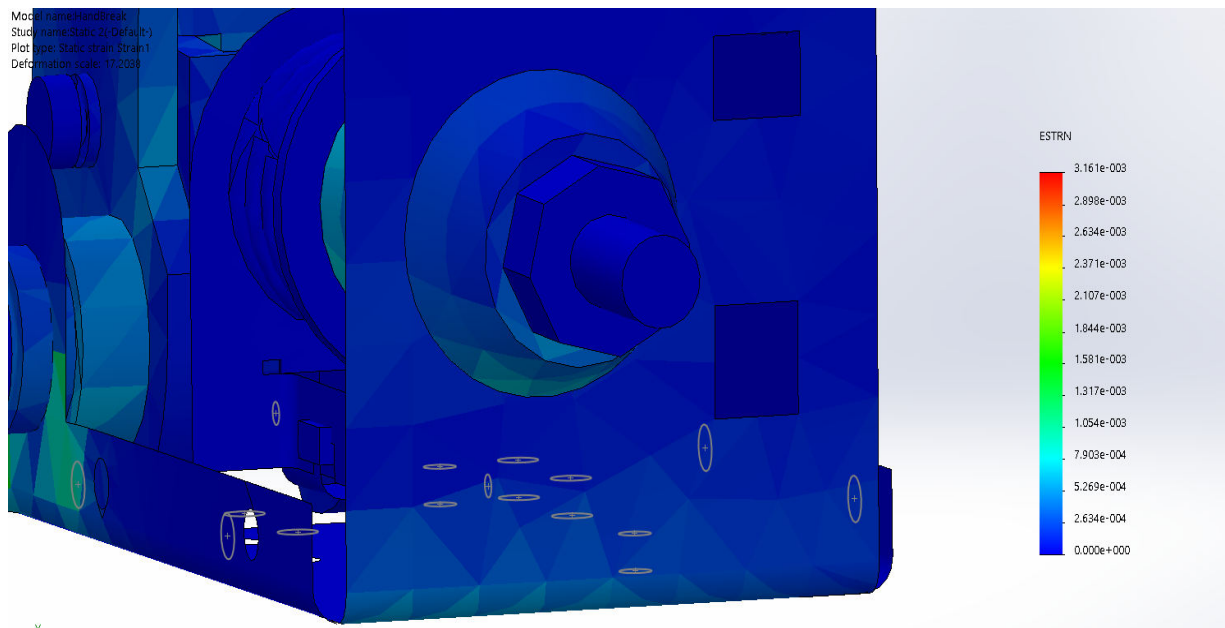
mõjub mudeli simulatsioonile. Simulatsioon on tehtud kaks korda, iga kord alusplaadi materjal on muudetud. Esimesel katsel alusplaadi materjal on valitud alumiinium, teisel katsel teras. Jõud, mis on rakendatud kangile on 1,7 kN. Tulemused on näha joonisel (joonis 20 - 23):



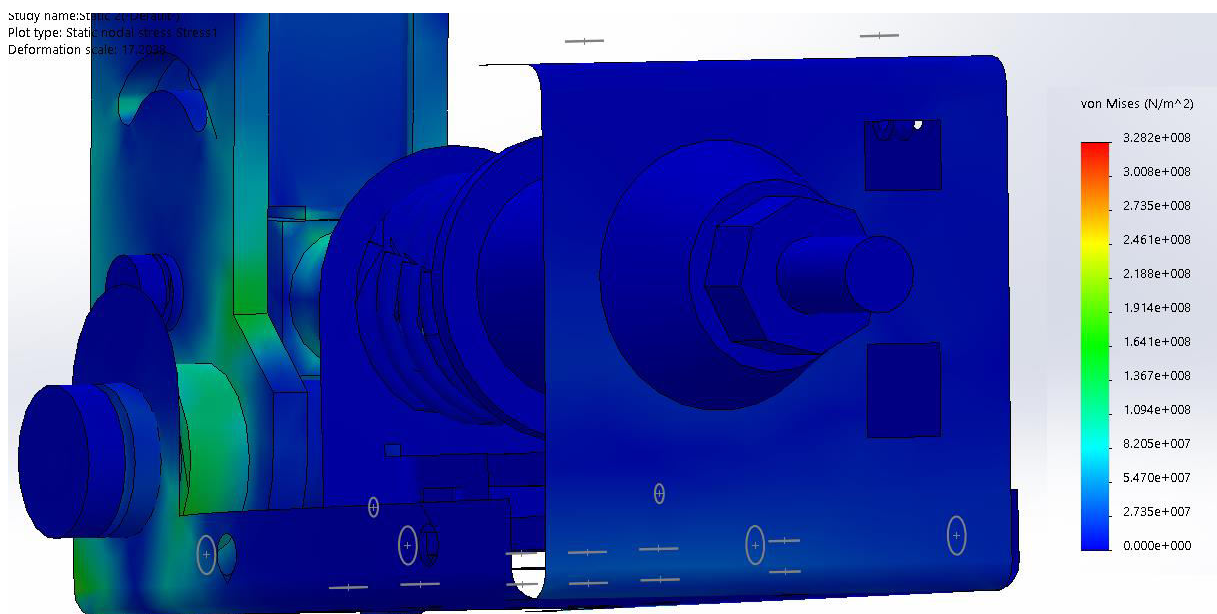
Joonis 20. Alumiinium alusplaadi simulatsiooni tulemus – surve pinge



Joonis 21. Alumiinium alusplaadi simulatsiooni tulemus – tõmbe pinge



Joonis 22. Teras alusplaadi simulatsiooni tulemus – surve pinge;

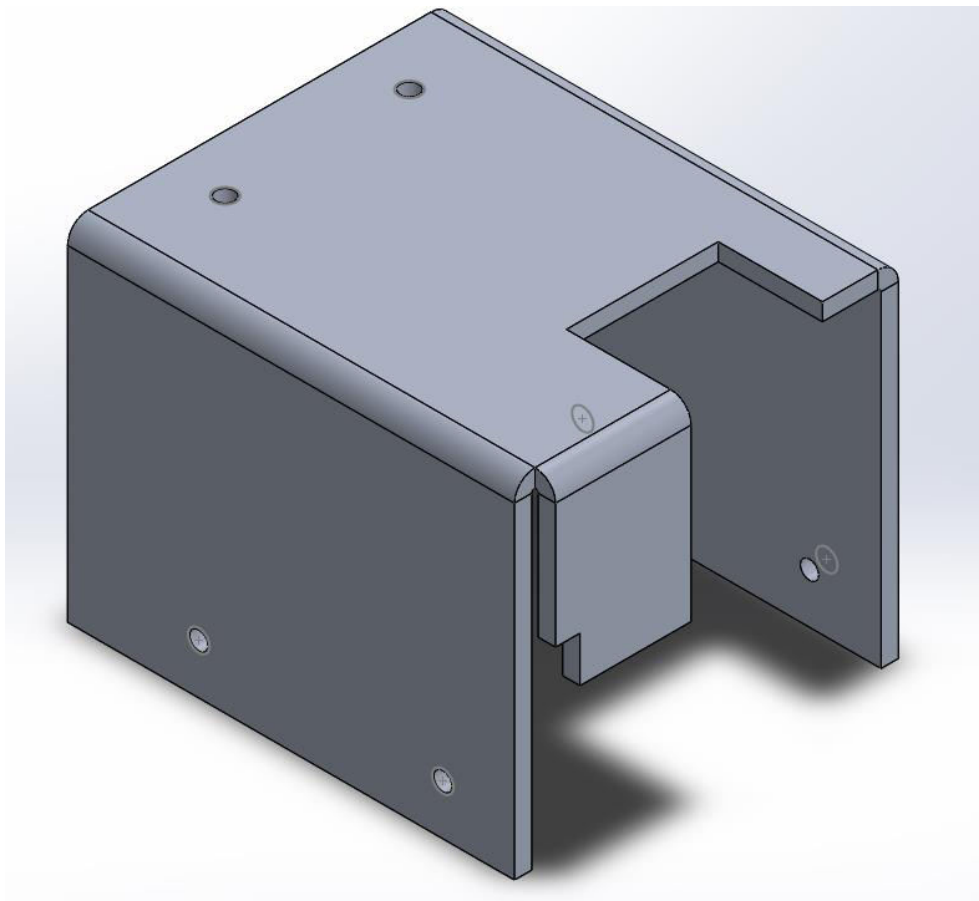


Joonis 23. Teras alusplaadi simulatsiooni tulemus – tõmbe pinge

Tulemusel on näha, kui on rakendatud jõud suurusega 1,7 kN mõlemad materjalid käituvad sarnaselt. Alumiinium alusplaadil maksimaalne tõmbe pinge on $\approx 27350 \text{ N/mm}^2$, teras materjali tõmbe pinge on samasugune $\approx 27350 \text{ N/mm}^2$ Kui materjali paksus on 6 mm tõmbe pinge ja surve pinge ei mõjuta konstruktsiooni tagaseinale negatiivselt.

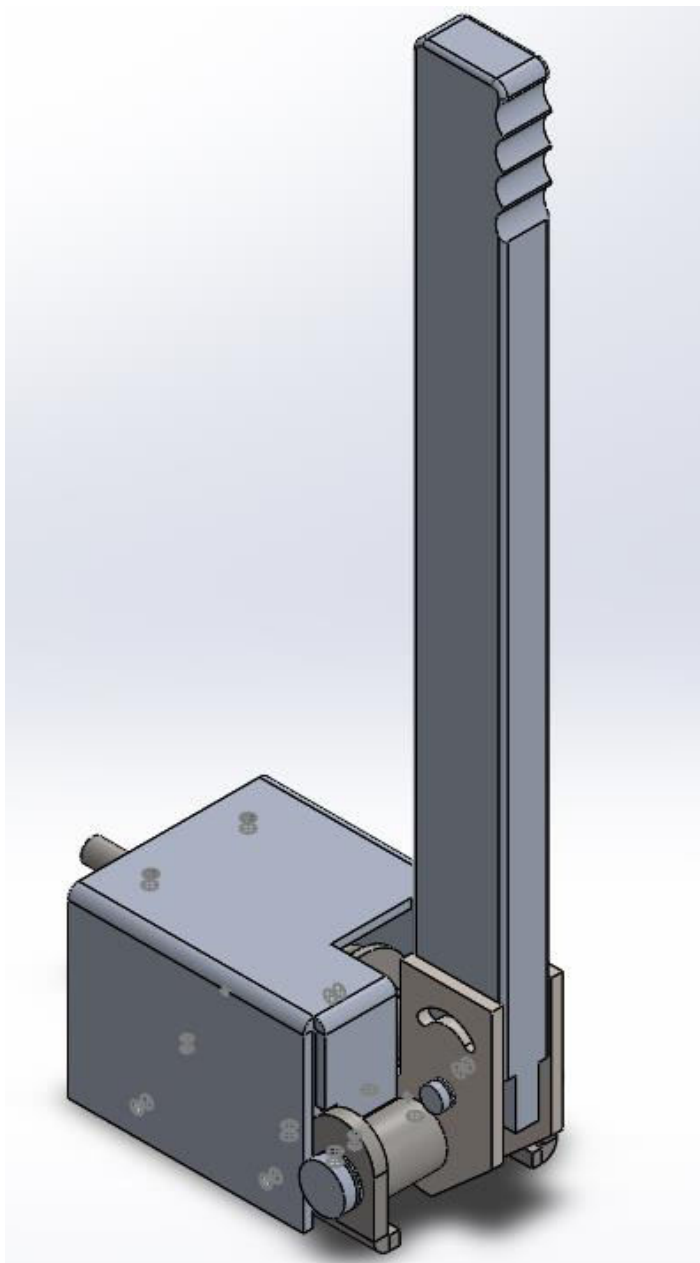
2.3.6. Korpuse kaas

Korpuse kaane peaülesandeks on seadme sisemiste osade kaitsmine ümbritseva keskkonnast (joonis 24). Selle seadme kaas täidab kahte funktsiooni: seadme sisemise elektroonikasüsteemi kaitsmist ja alusplaadi kaane kinnitumist. Alusplaat ja kaane kinnitus on kuues punktis. Kaas on tehtud 5 mm alumiiniumi lehtmestallist. Alumiinium mida oli kasutatud käsipiduri kangi tegemiseks sobib korpuse kaane jaoks. Antud alumiiniumi sulami gruppi võib kasutada tänu sellele omadustele. Nagu selle grupi alumiiniumi sulami põhinäitajad on hea külm- ja kuumtöödeldavus, hea keevitatavus, korrosioonikindlus ja hea lõiketöödeldavus. Tänu selle seadme disainile kaas fikseerib käsipiduri tagaseina. Selline lahendus väldib kahjustusi suure jõu rakendamisest seadme konstruktsioonile.



Joonis 24. Korpuse kaas

Lõplik mudel on näidatud joonisel 25. Antud mudelil on mõlemad puutused, nagu vahemikud alusplaati ja korpuse kaane vahel. Korpuse kaas ei ole kõige optimaalsem antud alusplaadile.



Joonis 25. Lõplik võidusõidu simulaatori käsipiduri mudel

2.4. Tagasisidesüsteemi arvutused

2.4.1. Vedru arvutused

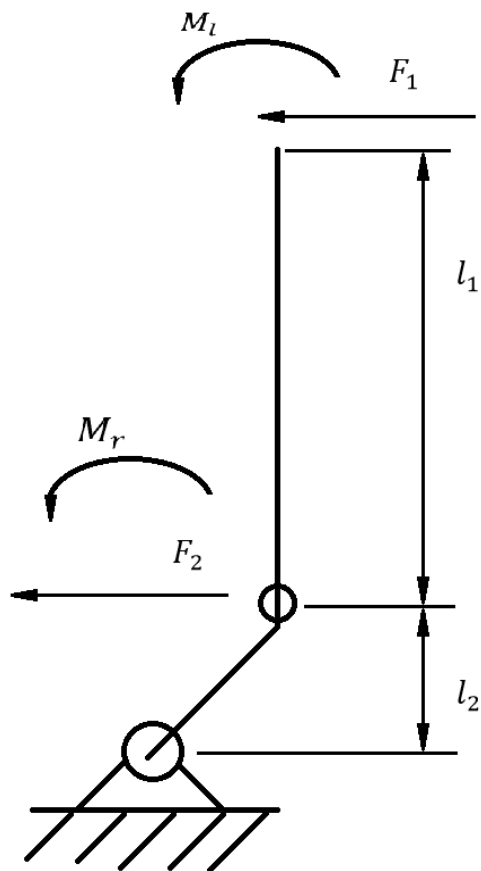
Tagasiside tunde saavutamiseks tuleb kindlaks määrata käsipiduri kangile rakendatud jõud. Selleks tööks oli mõõdetud sõiduauto (*Audi, Ford, Toyota*) tross seisupiduri vajaliku jõu lõpp positsiooni viimiseks. Andmete saamiseks oli mõõdetud rakendatud jõudu dünamomeetriga. Katse tulemuse järgi võib näha, et lõpp positsioonil rakendatud jõud on 10 kg – 15 kg. Seisupiduri kangi tulemus oli rakendatud võidusõidu simulaatori käsipiduri arenduse jaoks. Selleks, et välja arvutada jõud käsipiduri kangi teisel otsal tuleb kõigepealt konverteerida kilogrammid njuutonile (1).

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

kus F – raskusjõud N;

m – mass kg;

g – raskuskiirendus m/s^2 ;



Joonis 26. Käsipiduri kangireegli skeem

Antud valemi järgi oli valitud maksimaalne mass mida rakendatakse kangile $m = 15 \text{ kg}$. Raskuskiirendus $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

$$F = m \cdot g = 15 \cdot 9,8 = 147,15 \text{ N}$$

Valemiga (1) leitud vastusest saame, et rakendatud jõud ühele kangi õlale on 147,15 N.

Korrektse rakendatud jõudu tagasisidesüsteemile väljaarvutamiseks on vaja kasutada kangireegli kahe jõu korral arvetust valemit (2). Kangi reegel on illustreeritud joonisel (joonis 26).

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \quad (2)$$

kus F_1 – jõud esimesel kangi osal N;

l_1 – esimese kangi osa pikkus m;

F_2 – jõud teisel kangi osal N;

l_2 – teise kangi osa pikkus m;

Valemist (3) saab leida F_2 jõudu. F_1 jõuks on 147,15 N. Käsipiduri kangi esimese kangi osa pikkus l_1 on 404,83 mm. Teise kangi osa pikkus l_2 on 35 mm.

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} = \frac{147,15 \cdot 0,404}{0,035} = 1698,5 \text{ N} \approx 1,7 \text{ kN} \quad (3)$$

Antud tulemuse(3) järgi on näha, et tagasisidesüsteemi rakendatakse 1,7 kN jõudu. Selle vastust tuleb kasutada vedru ja kummipuhvri valimiseks tagasiside mehhanismi jaoks.

Läbiviidud arvutusi saab kontrollida kangireeglit kasutades (4).

$$\Sigma M_l = \Sigma M_r \quad (4)$$

kus ΣM_l – vastupäevaste momentide summa Nm;

ΣM_r – päripäevaste momentide summa Nm;

Momendi leidmiseks tuleb kasutada järgmist valemit (5).

$$M = F \cdot l \quad (5)$$

kus M – jõumoment Nm;

F – jõud N;

l – efektiivne kangi õlg m;

Iga kangi õla jaoks seda valemit kasutades on võimalik välja arvutada momendi summad. Ja nende paigaldamine valemisse (4) võib tõestada arvutust. Esimene kangi õlg $F_1 = 147,15 \text{ N}$ ja efektiivne kangi pikkus $l_1 = 0,404 \text{ m}$. Need parameetrid aitavad leida vastu päevaste momentide summa (6).

$$\Sigma M_l = F_1 \cdot l_1 = 147,15 \cdot 0,404 = 59,45 \text{ Nm} \quad (6)$$

Päripäevaste momentide summa on võimalik leida kasutades teise kangi õlga $F_2 = 1698,5 \text{ N}$ ja efektiivse kangi pikkust $l_2 = 0,035 \text{ m}$ (7).

$$\Sigma M_r = F_2 \cdot l_2 = 1698,5 \cdot 0,035 = 59,45 \text{ Nm} \quad (7)$$

Välja arvatatud kangi õlale momentide summadega on võimalik kinnitada enne tehtud arvutusi, kangireeglit valemiga (4).

$$\Sigma M_l = \Sigma M_r$$

2.4.2. Tagasisidesüsteemi vedru valik

Tänu läbiviidud kangi arvutustele on võimalik leida sobiv vedru ja kummipuhver tagasisidesüsteemi jaoks. Esialgu tuleb leida vedru, mis võiks sobida antud süsteemi. Vedru valimine on tehtud kataloogi abiga. [19] Antud kataloog kasutab vedru standardi DIN 2098. Kõik suurused sellel kataloogil on millimeetrites. Vedru tagasisidesüsteemis peab olema osaliselt koormatud käsipiduri neutraalasendis. Selles asendis on vedru jaoks vaja 30 mm vaba ruumi. Summaarselt vedrule ja kummipuhvrile rakendatakse 1698,5 N. Vedru kokkusurumiseks peab jõud olema väiksem kui 1698,5 N. Kui vedrule on vaja rakendada rohkem jõudu kokkusurumiseks, siis kummipuhvri lisamine on mõttetu. Ülejäänud jõud on jagatud kummipuhvrile. Selle puhvri jäikus peab olema suurem kui vedru oma.

Antud juhul vedru valimiseks oli vaadatud parameetrid nagu D_m – vedru diameeter, L_o – mitte koormatud pikkus, L_n – koormatud pikkus ja F_n – vedru jõud punktis L_n . Selle kataloogi järgi oli valitud järgmised vedru tüübid:

Tabel 2. DIN2098 standardi järgi sobivad vedrud

Kataloog number	D_m , mm	L_o , mm	L_n , mm	F_n , N
6209	20	33,5	18,5	577
6229	20	33,5	22,2	1069
6234	25	41	22,9	852
6254	25	41	27,6	1569
6259	32	51	28,7	1226

Korrektse vedru leidmiseks tuleb tarvitada *Hooke*'i seaduse valemit (8).

$$F = R \cdot s \quad (8)$$

kus F – vedru jõud N;

R – vedru jäikus N/mm

s – vedru siire mm;

Hooke seaduse (5) abil on võimalik leida vedru jäikust – R (9).

$$R = \frac{F}{s} \quad (9)$$

Järgmine arvetus on tehtud vedru margile DIN 6209. Vedru kokkusurumiseks on vaja 1121 N. Osaliselt kokkusurutud vedru seadme sees on pikkusega 30 mm. Täiesti kokkusurutud asendis vedru peab olema suurusega 18,5 mm. Terve vedru pikkus võiks olla 33,5 mm. Vedru siire, s - antud juhul on 15 mm.

$$R = \frac{F}{s} = \frac{1121}{15} = 74,7 \text{ N/mm}$$

2.4.3. Kummipuhvri arvutus

Ülejäänud jõud, mis on rakendatud lühikese kangi õlaga mõjub kummipuhvrile. Järgmiseks on vaja leida kummipuhver, mis sobiks valitud vedrudele. Selleks, et seda leida on vaja välja arvutada kummi jäikus. Kummist valmistatud komponentide tehtud valik tihti sõltub selle materjali jäikusest. Jäikuse ühik on *Newtonid* meetri kohta (N/m). Jäikus on defineeritud valemiga (10), kus on näidatud jõu rakendamine keha deformatsiooni tekkimiseks. Antud valem on tahketele objektidele. Kelle jäikus on sirgjooneline siire.

$$K = \frac{F}{d} \quad (10)$$

kus K – kummi komponendi jäikus N/m;

F – rakendatud jõud N;

d – deformatsioon m;

Antud valemi kasutamisel on võimalik välja arvutada kummipuksi jäikus. Ülejäänud jõud F , mis jäi pärast vedru kokku surumist mõjutab kummipuhvrit otseselt.

Jäikus võib olla kolmes kategooriates: paine, surve ja tõmme. Võib esineda nende tüüpide kombinatsioone. Kombinatsiooni tekkimine sõltub jõu rakendamise punktist. Selles projektis kummidetallile sobib surve tüüpi jäikus. Surve jäikuse valemi (11) järgi võib välja arvutada optimaalse kummipuhvri suuruse ja jäikuse mida tuleb kasutada seadmes.

$$K_c = \frac{A \cdot E_c}{t} \quad (11)$$

kus K_c – jäikus surve jõu rakendusel N/mm;

A – rakendatud jõude pindala mm²;

E_c – surve moodul kPa;

t – keha paksus m;

Kasutades antud valemit on võimalik välja arvutada elastomeerist tehtud komponentide jäikust. On vaja välja arvutada kummipuhvri pindala millele mõjub jõud. Puhver ise on silindrilise kujuga avaga keha keskel. Puhvri diameeter $D = 30$ mm. Puhvri keha keskel ava diameeter $d = 10$ mm. Keha pindala leidmiseks tuleb kasutada õõnessilindri valemit (12).

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \quad (12)$$

kus A – õõnessilindri pindala mm^2 ;

D – silindri diameeter mm;

d – silindri ava diameeter mm;

Kasutades antud valemit (12) tuleb järgmine vastus:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (30^2 - 10^2) = 628,3 \text{ mm}^2$$

Surve moodul E_c ühepoolse jõu rakendamisel võib välja arvutada valemiga (13):

$$E_c = 1,33 \cdot E_0 \cdot (1 - \phi \cdot S^2) \quad (13)$$

kus E_c – surve moodul kPa;

E_0 – *Youngi* moodul kPa;

ϕ – elastomeeri surve koefitsient;

S – kuju faktor;

Selleks, et leida elastomeeri surve koefitsienti on vaja välja arvutada *Youngi* moodul (14).

$$E_0 = \frac{\delta}{\varepsilon} \quad (14)$$

kus E_0 – *Youngi* moodul kPa;

δ – tõmbejõud kPa;

ε – survejõud kPa;

Üldse kõikide seadmete detailide disainimisel tuleb arvesse võtta materjali maksimaalselt tõmbe- (15) ja survepinget (16).

$$\delta = \frac{F}{A} \quad (15)$$

kus δ – tõmbepinge kPa;

F – rakendatud jõud N;

A – keha pindala mm^2 ;

$$\delta = \frac{1121}{628,3} = 1784 \text{ kPa}$$

Järgmisena tuleb välja arvutada maksimaalset materjali pinget.

$$\varepsilon = \frac{d}{t} \quad (16)$$

kus ε – survepinge

d – maksimaalne deformatsioon mm;

t – keha paksus mm;

$$\varepsilon = \frac{15}{30} = 0,5$$

Pärast läbiviidud arvutusi on võimalik kasutada saadud tulemusi *Young* mooduli (14) välja arvutamiseks.

$$E_0 = \frac{1784}{0,5} = 3568 \text{ kPa}$$

Elastomeeri surve koefitsienti tuleb valida *Youngi* mooduli järgi kaustade materjali omaduste tabelit raamatust „*Engineerong with Rubber*“. [20] Valitud tabeli järgi kõige sobivam materjali surve koefitsient ϕ on 0,64. Surve mooduli väljaarvutamiseks järgmiseks tuleb leida kuju faktor. Kuju faktorit arvutatakse valemiga (17).

$$S = \frac{A}{a} \quad (17)$$

kus S – keha faktor

A – jõud rakendatud keha pindala mm^2 ;

a – keha pindala, mis on vaba jõu rakendamisele mm^2

Eelnevalt tehtud arvutustes on juba teada jõud rakendatud keha pindala $A = 628,3 \text{ mm}^2$. Keha pindalalt, mis on vaba jõu rakendamisele on vaja välja arvutada valemiga (18) sest uuritud keha on silinder.

$$a = \pi \cdot D \cdot t \quad (18)$$

kus a – keha pindala, mis on vaba jõu rakendamisele mm^2 ;

D – silindri diameeter mm;

t – keha paksus mm;

Kummipuhvri diameeter, D on 30 mm. Puhvri paksus, t või antud juhul pikkus on 30 mm.

$$a = \pi \cdot 30 \cdot 30 = 2827 \text{ mm}^2$$

Tänu valemite (18) tulemusele on võimalik välja arvutada keha faktorit, kasutades valemit (17).

$$S = \frac{628,3}{2827} = 0,22$$

Järgmisena arvutatakse survemoodul valemi (13) järgi. Kus *Young* moodul, E_0 on 3568 kPa.

Elastomeeri surve koefitsient, ϕ on 0,64. Keha faktor, $S = 0,22$.

$$E_c = 1,33 \cdot 3568 \cdot (1 - 0,64 \cdot 0,22^2) = 4896 \text{ kPa}$$

Nüüd on võimalik välja arvutada kummipuhvri jäikus suve jõu rakendamisel. Oli välja arvutatud surve mooduli, $E_c = 4896 \text{ kPa}$. Pind kuhu rakendatakse surve jõud, $A = 628,3 \text{ mm}^2$. Viimaseks on teada keha paksust, $t = 30 \text{ mm}$. Need andmed tuleb kasutada valemiga (11), mis olid defineeritud varem.

$$K_c = \frac{628,3 \cdot 4896}{30} = 102,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

2.4.4. Kummipuhvri valik

Lõplik kummipuhvri jäikus peab olema suurem kui vedru oma. See on selleks, et kaitsta potentsiomeetrit suure jõudu mõjutamisest ja selle kahjustusest. Saanud tulemuste järgi on näha, et valitud vedrule sobib kummipuhver materjalist mille jäikus on $102,5 \text{ N/mm}$ ja diameetriga 30mm koos puksi pikkusega 30 mm 10 mm võlli puhul.

Kasutades erinevate ettevõtete pakutavaid katalooge ja teostatud uuringuid on võimalik selgitata välja puhvri jaoks sobiva materjal. Kataloogides on võimalik määrata sobiv materjal nende parameetrite järgi. Parameeter, mille järgi tuleb valida puhvri materjal, on tõmbetugevus. Tõmbetugevus on rakendatud jõud jagatud keha pinnaga, millele jõudu rakendatakse (15). Materjali tõmbetugevus peab olema suurem kui välja arvutatud. Lisaks sellele vaadatakse duromeetri näitused. Duromeeter on üks kummi kõvaduse mõõtmise seade, mis kasutab kolme kõvaduse skaalat A, D ja *Rockwell* –i R.

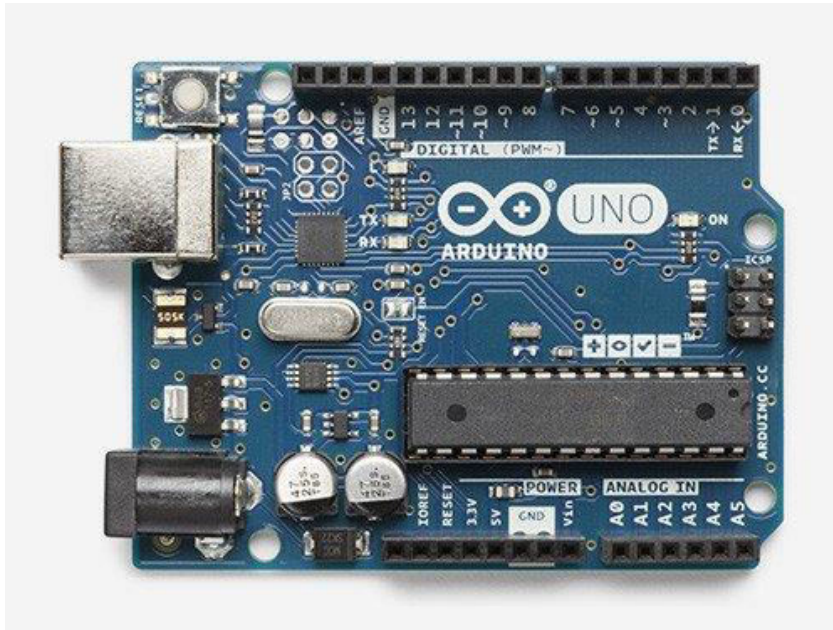
Võrdlemiseks on võetud väljaarvutatud tõmbetugevus. Duromeetri tulemuste analüüsis on kasutatud *Dynatech* –i tabel. [21]

1. Kasutatud tabeli järgi sobivad järgmised materjalid [22]:
2. Poliüretan – tõmbetugevus on 20,7 kuni 65,5 MPa. Duromeetri näidud -5A kuni 85D. Niitril kumm – tõmbetugevus on 13,8 MPa. Duromeetri näidud – 40 kuni 95A.
3. Neopreen kumm – tõmbetugevus on 20,7 MPa. Duromeetri näidud – 40 kuni 95A.
4. Naturaalkumm – tõmbetugevus on 20,7 MPa. Duromeetri näidud – 30 kuni 90A.
5. SBR kumm – tõmbetugevus on 18,8 MPa. Duromeetri näidud – 40 kuni 90A.
6. Butüül kumm – tõmbetugevus on 18,8 MPa. Duromeetri näidud – 40 kuni 75A.

3. SIGNAALI TÖÖDELEDUS

3.1. Kontroller

Antud projekti juhtimismoodulina kasutatakse *Arduino UNO Rev 3* arendusplaati, mis on näidatud joonisel (joonis 27). Selle arendusplaadi aluseks on *Atmega328P* mikrokontroller.



Joonis 27. Arendusplaat *Arduino Uno Rev 3*

Selle kontrolleri andmed on näidatud tabelis (tabel 3):

Tabel 3. *Arduino Uno Rev 3* tehnilised andmed [23]

Mikrokontroller	Atmega328P
Tööpinge, V	5
Soovitatav sisendpinge, V	7-12
Sisendpinge piirid, V	6-20
Digitaalsed sisend- ja väljundi viigud, tk	14
Pulsilaiusmodulatsioon võimekusega viigud, tk	6
Analoog sisendväljund, tk	6
Alalisvoolu piirang sisend- ja väljund viikudel, mA	20
Alalisvoolu piirang 3,3 V viikudel, mA	50
Välkmälu, KB	32
Staatiline juhupöördlusega mälu, KB	2
Püsimälu, KB	1
Taktsagedus, MHz	16

Antud *Arduino UNO Rev 3* oli valitud simulaatori käsipiduri koostamiseks tänu selle analoogsisendile, digitaalväljundile, plaadi kättesaadavusele ja gabariitidele. Seda kontrolleri kasutatakse laialdaselt erinevatel erialadel ja projektidel. Sobib antud seade püstitatud ülesande lahendamiseks. Valitud arendusplaadi programmeerimiseks on kasutusel *Arduino IDE* keskkonda. *Arduino IDE* programmeerimis keskkond lubab programmeerimist arendusplaadil kiirendada tänu oma mugavusele ja avatud lähtekoodile. [24]

3.2. Potentsiomeeter

Valitud sirgjooneline potentsiomeeter lubab täita püstitatud eesmärgid. Selle seadme parameetrid, mis on näidatud tabelis 4, lubavad kasutada *Arduino Uno Rev 3* arendusplaati ja efektiivselt paigaldada seadme korpusesse.

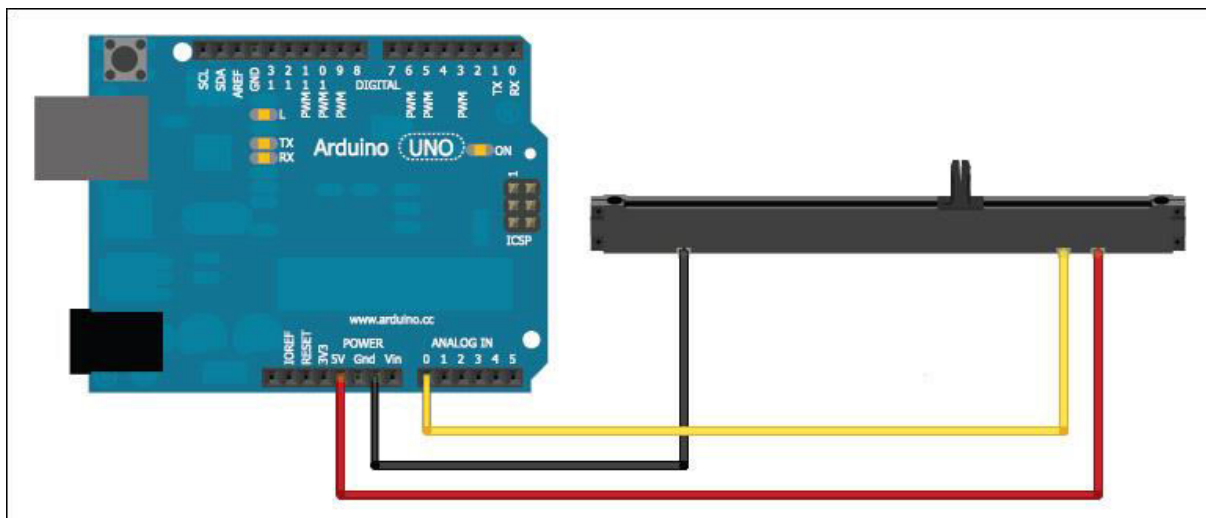
Tabel 4. Potentsiomeetri tehnilised parameetrid

Takkistus, kOm	100
Tolerants, %	20
Maksimaalne pinge, V	500
Võimsus, W	0.5
Kasutamise aeg, tsükkel	15000

3.3. Arendusplaadi ja potentsiomeetri ühendus

Arduino Uno Rev 3 arendusplaadi eelis on selles, et seda on võimalik paigaldada ja ühendada erinevates elektroonilistes skeemides. *Arduino Uno* ja teistel *Arduino* arendusplaatidel on sisse ehitatud *ADC(Analog to Digital Converter)* või digitaal-analoogmuundur. Antud muunduriga arendusplaat teisendab saanud analoogsisendis signaali ja saadab seda arvutisse digitaalse signaalina. Potentsiomeetrit kasutades digitaal-analoogmuundur muudab positsiooni anduri tulemust numbriliseks tulemuseks skaalas 0 – 1023. [25] Tänu sellele omadusele on antud arendusplaati võimalik kasutada antud projektis. *Arduino* arendusplaadi ühendamine toimub kahel viisil. Esimesel variandil ei ole juhtmete portide ühendust. Teine variant kehtib *arduino* plaatidel, kus on ühendus juhtmete portidel. Selline ühenduse meetod on kasulik sageli ümberehitatavate muutuvate skeemide puhul. Antud varianti on rohkem kasutatud tänu selle mitmekülgsetele võimalustele. Käesolevas projektis on kasutatud nii

toote katsetamisel kui prototüübi tootmisel teist varianti. Potentsiomeeter on ühendatud kolme juhtmega arendusplaadiga (joonis 28).

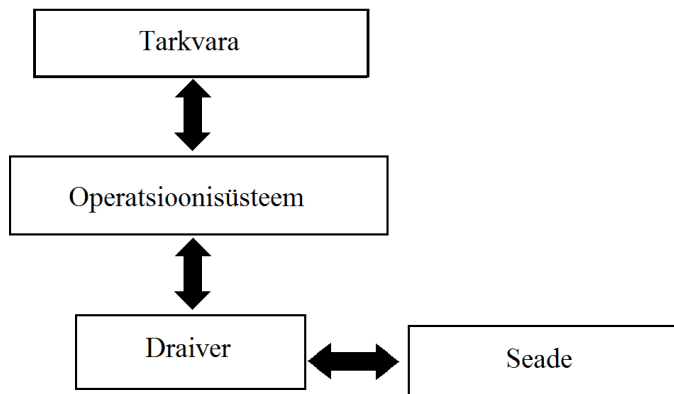


Joonis 28. Arendusplaadi ja potentsiomeetri ühendus [26]

Iga potentsiomeetri ühendamisviis on identne, ei ole mingit erinevust ümmarguse ja sirgjoonelise potentsiomeetri vahel. See muudab selle anduri universaalseks. Potentsiomeetritel on kolm väljundit: toide, analoogsignaali väljund ja maandus. Selles töös toiteks on määratud 5 V. Potentsiomeetri ühendamisel üks pool on ühendatud toitega, teine maandusega. Selline ühendus annab kinnise vooluringi. Potentsiomeetri keel on ühendatud analoogsignaali sisendiga. Keele liikumisel muutub anduri sisend takistus – see erinevus genereerib signaali mida loeb valitud *arduino uno*.

3.4. Draiver

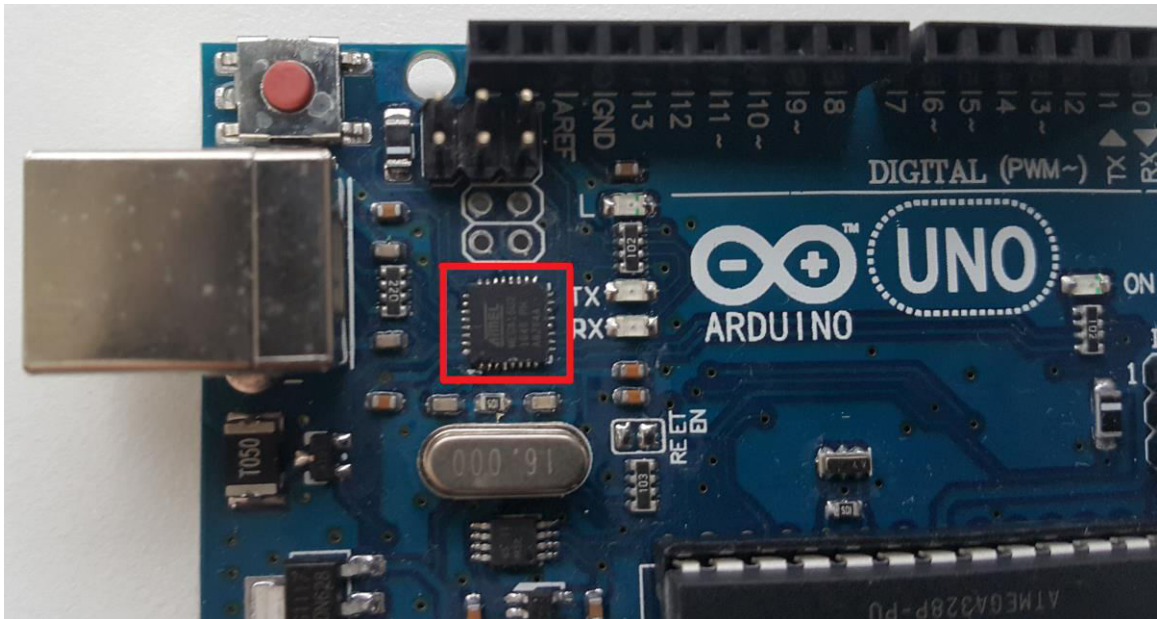
Selleks, et simulaatori tarkvara korrektselt loeks analoogsignaali potentsiomeetrilt on vajalik rakendada lisatarkvara – draiverit. Draiver laia definitsiooni järgi, on tarkvara, mis lubab seadmel suhelda operatsioonisüsteemiga. Tarkvaral töötamiseks on vaja saada signaal seadmest. Selles olukorras tarkvara võtab ühendust operatsioonisüsteemiga. Operatsioonisüsteem võtab ühendust seadmega. Seadme signaal on edastatud tarkvarale, operatsiooni süsteemist seda võimaldavad draiverid. [27] Kõik draiverid ei ole kirjutatud seadme tootja poolt. Tavaliselt seade on tehtud ette määratud riistvara standardi järgi. See tähendab, et seadme tootja ei pea kirjutama oma draivereid, kui operatsioonisüsteemi poolt on juba olemas sobiv tarkvara. Joonisel 29 on näidatud draiveri põhimõtteskeem.



Joonis 29. Draiveri põhimõtteskeem

3.5. *Unojoy* tarkvarapakett

Simulaatori käsipiduri ühenduse võtmiseks tuleb ümber programmeerida *arduino USB* kiibi püsivara. Selle ülesande täitmiseks on kasutatud tarkvaralist paketti *Unojoy*. *Unojoy* on kolmeosaline tarkvarapakett, mis muudab *arduino uno* arendusplaati *USB* mängukontrolleriks. Antud pakett koosneb kolmest osast: draiverid, tarkvara ja püsivara. Draiverit on vaja selleks, et ümber programmeerida *arduino USB* suhtlemise kiipi. Tarkvaras on *Unojoy* koodi arhiiv, millest tuleb koostada *arduino* kood. [28] Koodi kirjutamine on lihtne, sest kõik funktsioonid on ette defineeritud ja koodi kirjutamine on võrde konstruktori plokkide kokkupanemisega. Viimaseks on püsivara – programm mida tuleb peale laadida *arduino USB* suhtlemise kiipi (joonis 30). Selle tarkvarapaketi eelis on lihtne ja kiire programmeerimine, sobivus paljudele erinevate *arduino* arendusplaatidele, funktsioneerib koos arvutitega ja *Playstation 3* mängu konsooliga.



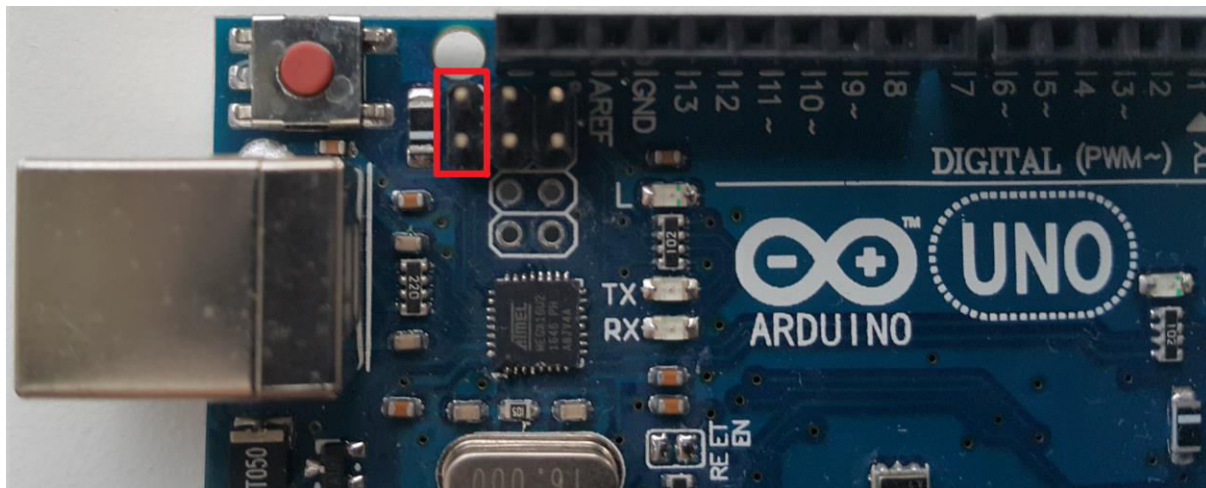
Joonis 30. *Arduino Uno Rev 3* USB protokoll kiip

Püsivara uuendamiseks ja muutmiseks kasutatakse spetsiaalse *USB* protokoll *DFU* (*Device Firmware Update*). Püsivara – on spetsiifiline tarkvara, mida ei ole võimalik muuta pärast esimest installeerimist kiipidele. *Atmega328P* *arduino uno* arendusplaadis töötab nagu sild arvuti *USB* portide ja pea protsessori seeria porti vahel. [29] Selle ümberprogrammeerimiseks peab *Windows*-i operatsioonsüsteem näitama *arduino uno rev 3* arenduspladimängu kontrollina *uniojoy*-ks, koos selle täieliku häälestamisfunktsioonidega.

3.5.1. *Uniojoy* installeerimine

Ennekõike tuleb *Arduino Uno*-le installeerida arhiive või raamatukogu (*library*), koos süda koodiga. *Arduino* arhiivi laiendid on, mis suurendavad selle arendusplaadi programmeerimise võimalusi, nagu teistes programmeerimiskeeltes. [30] Laiendid annavad lisavõimaluse arendusplaadi ja seadme andmete edastamiseks. Paljud arhiivide kogumikud tulevad koos *IDE* programmeerimise tarkvaraga komplektis. Muidugi eriseadme jaoks võib lisa arhiive leida internetist või neid ise luua. [30] Need arhiivid hoiavad spetsiaalse programmeerimiskeele koodid või funktsioonid, mida võib kasutada programmeerimise ajal. Niisugused funktsioonid võivad teha pika programmi, mis koosneb 300 koodi reast, väikese 100 realise programmi. Programmi kood, kus on kasutatud arhiivi funktsioone arendusplaadis ilma vajaliku arhiivita, tekkivat *IDE* programmeerimis keskkonda veateadet.

Selleks, et ette valmistada arendusplaat, tuleb sisse lülitada *DFU* režiimile. Sellele režiimile üleminekuks tuleb rakendada sild *arduino uno* arendusplaadil *USB* pesa juures (joonis 31).



Joonis 31. *Arduino Uno Rev 3* *DFU* režiimi lülitamis pinnid

Teiste *arduino* arendusplaatide tüüpidel *DFU* režiimi sisse lülitamine toimub vastupidiselt. Teisele režiimile üleminekut näitab arvuti ja arendusplaadi vahelise signaali katkestamist. Pärast seda arvutil seadme parameetrite aknal valitud arendusplaadile peab ilmuma *Arduino Uno DFU* nime all. Kui *arduino* plaat on ühendatud arvutiga korrektsel režiimil, tuleb käivitada püsivara uuenduse faili – fail varieerub sõltuvalt operatsioonisüsteemist. Kuna antud töö oli tehtud *windows*-i operatsioonisüsteemiga, tuli käivitada *TurnIntoAJoystick.bat* faili. See fail installeerib uue püsivara arendusplaadile. Probleemide tekkimisel valitud tarkvarapaketi on ka fail, mis muudab *Arduino* – t tagasi tavaliseks arendusplaadiks.

Uue püsivara käivituseks tuleb arendusplaadi ja arvuti ühendust katkestada. Järgmisel ühendamisel arvuti peab vastu võtma *Arduino*-t mängu controlleriks. Kontrollimiseks tuleb vaadata arvuti ühendatud seadmete nimekirjast. Arendusplaadi nimetus muutub tänu uuele püsivarale. *Windows*-i *Devices and printeris* aknal on võimalik seda controllerit näha ja häälestada. Häälestamist võib teha manuaalselt *arduino uno* programmi uuendamisega. Sellisel juhul kaotakse andud tarkvarapaketi eelis – võimalust häälestada operatsioonisüsteemi abil.

3.6. Tarkvara paketi ja riistvara katsetamine

Enne seadme konstruktsiooni tuleb läbi viia katse arendusplaadi ja potentsiomeetriga. On vaja tõestada tarkvara funktsionaalsus, selle koostoimet simulaatori tarkvaraga ja teise simulaatori riistvaraga. Selleks katseks oli valitud ümmargune potentsiomeeter takistusega 1 kOm, sirgjooneline potentsiomeeter takistusega 100 kOm, roolikomplekt *Trust predator* ja arendusplaat *Arduino Uno Rev 3*. Programmi koodiks kasutati näidiskoodi, mis tuleb koos *UnoJoy* paketi ja pärast lõpliku programmi koodi variandiga. Esialgu katsetati ümmargust potentsiomeetrit koos näidiskoodiga.

Katsel kasutati programmeerimiskeskonda *Arduino IDE* ja virtuaalse simulaatori tarkvara *Dirt Rally* ja *Arssetto Corsa*.

Pärast tehtud katsete võib teha järgmised järeldused:

1. Kontroll potentsiomeeter suurusega 1kOm töötas korrektselt
2. Potentsiomeetrit oli võimalik häälestada
3. Simulaatori tarkvaral ei tekkinud mingit konflikte potentsiomeetri ja teise kontrolleri vahel

Järgmiseks oli testitud potentsiomeeter mida kasutab lõplik seadme variant. Testida tuli potentsiomeetrit koos lõpliku programmi koodiga. Näidiskoodil on mittevajalikud lisakäsud, mis võiksid mõjutada tulemust.

Katses kasutatud programmikeskond *Arduino IDE* ja virtuaalse simulaatori tarkvara *Dirt Rally* ja *Arssetto Corsa*.

Pärast teist tehtud katset võib teha järgmised järeldused:

1. Sirgjooneline potentsiomeeter suurusega 100 kOm töötab antud tarkvarapaketi ja riistvaraga
2. Potentsiomeetri nullpunkti ja lõpp-punkti oli võimalik määrata Windowsi kaudu.
3. Simulaatori tarkvaral ei tekkinud mingit konflikte potentsiomeetri ja teise kontrolleri vahel

Tänu andmete katseliselt uuritud lahendusele võib tarvitada projekti seadme tootmisel.

3.7. Programmi kood

Näidis programmkoodi, mis oli kasutatud katsel on võimalik kasutada selle seadme opereerimiseks, kuigi antud kood ei ole spetsiifiliselt kohandatud projekti seadme kohta. Vigade vältimiseks tuleb seadme jaoks kirjutada erikoodi. Selle koodi kirjutamise aluseks oli kasutatud *UnoJoy* näidis. Tarkvara arendajalt oli võetud kasutamisele *IDE* arhiiv. Selle arhiivi abil on võimalik vähendada ja lihtsustada koodi kirjutamist.

```
#include "UnoJoy.h"

void setup() {
    // seadistuse kood:
    setupUnoJoy();
}

void loop() {
    // korduv peakood:
    dataForController_t controllerData = getControllerData();
    setControllerData(controllerData);
}
```

Joonis 32. Lõplik programmi koodi lõik

Antud koodist joonisel 32 on näha, et on näha, et see programm kasutab arhiivi nimega *UnoJoy.h*. Sellel arhiivil on defineeritud käsk *setupUnoJoy*. Selle koodi rida sobib terve programmi seadistamiseks. See seadistus on tehtud riistvarale, ilma milleta programmi kood ei hakka korrektselt funktsioneerima. Pärast on määratud peatsükkel funktsiooniga *loop()*. Antud funktsioon on koodile mida kasutatakse korduvalt nii kaua kuni seade on sisse lülitatud. Järgmiselt on kasutatud funktsioon *dataForController_t*. Antud funktsioon on süda kood *UnoJoy* arhiivist (joonis31).

```

typedef struct dataForController_t
{
    uint8_t triangleOn : 1; // Each of these member variables
    uint8_t circleOn : 1;   // control if a button is off or on
    uint8_t squareOn : 1;   // For the buttons,
    uint8_t crossOn : 1;    // 0 is off
    uint8_t l1On : 1;       // 1 is on
    uint8_t l2On : 1;
    uint8_t l3On : 1;       // The : 1 here just tells the compiler
    uint8_t r1On : 1;       // to only have 1 bit for each variable.
                                // This saves a lot of space for our type!
    uint8_t r2On : 1;
    uint8_t r3On : 1;
    uint8_t selectOn : 1;
    uint8_t startOn : 1;
    uint8_t homeOn : 1;
    uint8_t dpadLeftOn : 1;
    uint8_t dpadUpOn : 1;
    uint8_t dpadRightOn : 1;

    uint8_t dpadDownOn : 1;
    uint8_t padding : 7;    // We end with 7 bytes of padding to make sure we get our data aligned in bytes

    uint8_t leftStickX : 8; // Each of the analog stick values can range from 0 to 255
    uint8_t leftStickY : 8; // 0 is fully left or up
    uint8_t rightStickX : 8; // 255 is fully right or down
    uint8_t rightStickY : 8; // 128 is centered.
                                // Important - analogRead(pin) returns a 10 bit value, so if you're getting strange
                                // results from analogRead, you may need to do (analogRead(pin) >> 2) to get good data
} dataForController_t;

```

Joonis 33. *dataForController_t* UnoJoy arhiivist

Joonisel 33 on näidatud lõik arhiivist kus on määratud mängukontrolleri nuppude ja telgede algpositsioonid programmi suhtes. Nuppude asend on määratud 1 või 0. Vajutatud nupp on tähistatud 1-ga ja mitte vajutatud 0-ga. Pärast on defineeritud kõige olulisem osa südakoodis selle projekti raamis – analoog potentsiomeetrite positsiooni paiknevus. Antud arenduskeskkonnas funktsioon *analogRead* tagastab 10 *bit* väärtust. Täpsemate andmeteta saamist tuleb eemaldada 2 *bit*-i, selle jaoks kasutatakse >> 2 funktsiooni lõpus. Kontrollerial kõik signaalide sisendid jäävad muutmatuks, kuna kasutaja muudab seisundit.

Funktsiooni kiirete andmete saamiseks on *getBlankDataForController*. See funktsioon on vajalik andmete originaalsesse seisundisse tagasi laadimiseks. Pärast algandmete saamist programmist on defineeritud analoogsignaali saamise sisend. Selle projekti jaoks tuleb kasutada Z telge või *Z axis*. Z telje võib häälestada *Windowsi* abiga, kui x ja y teljed ei tööta sama moodi. Z telje defineerimiseks koodis tuleb kasutada funktsiooni *controllerData.rightStickX*. Kui antud tarkvara pakett muutub arendusplaadi mängu kontrolleri jaoks tuleb määrata missugust analoog telge peab kasutama käsipidur. Mängu kontrolleri on kaks analoogkangi. Mõlemal on kaks telge. Vasakul analoogkangil on teljed x ja y, kui paremal on z telg ja z rotatsioon. Sellepärast oli kasutatud funktsioon *controllerData.rightStickX*, see funktsioon vastab z teljele. Sisendi pesa võib muuta vastavalt vajadusele. Seda on võimalik teha *analogRead* funktsiooni muutmisega. Antud projektis oli kasutatud pesa A0. Lõpuks tuleb koodi andmed tagastada funktsiooniga *return*.

3.8. Majanduslik analüüs.

Antud töö eesmärgiks on koostada madala omahinnaga seade ja teha majanduslik analüüs selle tõestamiseks. Täpset prototüübi maksumust on raske öelda. Antud analüüsis on üle vaadatud ainult materjali ja komponentide töötlemise hinnad, ilma käibemaksuta. Tulemus on tabelis. Materjali töötlemise hind ei ole määratud antud tabelis. Seadme tootmiseks kasutatakse laserilõikust, lehtmaterjali painutamist, puurimist, treimist ja freesimist. Antud tööprotsesside seadistamine on kõige kallim. Lisaks sellele hinnale lisandub pingi töötundide kulu ja operaatori töötasu.[31]

Tabel 5. Ostetud materjalide ja komponentide hinnakiri

Nimetus	Kogus, tk.	Hind kokku, €
Arduino Uno Rev 3	1	10,25
Potentsiomeeter	1	1,5
Teras Laat 130x6	1	19,18
Alumiinium laat EN AW-1050 Al	1	19,80
Seib FXA ZN DIN9021 10/30/2,5	2	1,05
DIN2098 3,2x20x33,5 survevedru	1	14,5
Clevis GD DIN 71752 10x20	1	14,47
DIN6799 20mm E circlips	2	0,28
E type retainer ring 10mm	2	0,16
Mutter FXA M10	3	1,49
USB kaabel A-B 3m	1	3,00
ABS plastik seib M3x7x6	4	0,34
Alumiinium toru diameeter 20 mm	1	4,40
Kumm	2	
Kruvid M5x15	10	1,10
Kruvid M3x10	4	0,48
Kruvid M4x10	2	1,10
P juhtme klamber	1	0,15
		93,25

3.9. Seadme võimalik edasiareng

Seadme prototüüp, mis oli tehtud selles projektis ei ole optimaalne. Selle optimeerimiseks on võimalik lisada parandusi tulevikuversioonidele. Parandused võivad olla väikesed, mis ei mõjuta ja muuda seadmel opereerimist. Parandused, mis ei mõju seadme tööle on lihtsustatud lahti võtmise võimalus. Lihtsustatud lahti võtmiseks on vaja muuta disaini – muuta *arduino* arendusplaati ja potentsiomeetri hoidjat paremas kättesaadavuses, lihtsustatud tagasisidesüsteemi kinnitust ja kättesaadavust. On võimalik parendada käsipidurikangi nurga reguleerimist ja lisada LED indikaator, mis näitaks seadme hetkeseisundit. Tuleb parendada seadme programm koodi. Piiratud oskuse tõttu, prototüübi programmis ei olnud automaatset häälestus funktsiooni. Selle funktsiooni lisamine lihtsustaks seadme reguleerimis protseduuri.

KOKKUVÕTTE

Antud rakenduskõrgharidusõppe lõputöös püstitatud eesmärgid said täidetud. Seade on projekteeritud ja prototüüp koostatud. Prototüüpi võib lugeda õnnestunuks, sest antud seade täitis oma ülesande. Seade töötas virtuaalsimulaatoriga ja koos roolikontrolleriga samal ajal ilma mingi veateateta. Potentsiomeetri positsiooni muutmisega võidusõidu simulaator reageeris vastavalt olukorrale. Lõputöö käigus valmistatud riistvaraline ja tarkvaraline lahendus võimaldas reguleerida käsipidurit ja selle tagasisidesüsteemi algpositsiooni. Lõputöö kirjutamise ajal oli teoreetiliselt leitud kõige sobivamad komponendid tagasisidesüsteemile. Kuna antud rakenduskõrgharidusõppe lõputöö oli praktilise ülesandega, siis lõputöö koostamise jooksul omandati palju uusi teadmisi ja praktilisi oskuseid. Projekti tegemise käigus kasvas autori arusaamine programmeerimisest valitud keskkonnas ja arendusplaadi kasutamisest. Samuti paranesid joonestamis-, modelleerimis- ja seadmete disainimise oskused.

Lõputöös on antud ülevaade turul olevatest, tuntud ettevõtete simulaatorite käsipiduritest. Simulaatori käsipidureid on võrreldud erinevates kategooriates, ning on tehtud järeldusi lõputöö lahenduse projekteerimisel. Samuti on tehtud andurite ülevaade, mida on võimalik kasutada projekti eesmärgi saavutamiseks, seejärel on valitud kõige sobivam andur.

Toote arendusmetoodika on välja toodud ja seletatud enne projekteerimist. Käsipiduri kangi projekteerimise alguses on uuritud erinevate automarkide seisupidurite sisse lülitamiseks vajalikku jõudu. Nende andmete järgi on välja arvatud jõud, mida rakendatakse tagasisidesüsteemile. Nende andmete alustel on väljaarvatud optimaalsed vedru parameetrid ja kummipuhvri parameetrid, sarnase tunnetuse saamiseks. Seejärel on tehtud ülevaatus nendest seadme komponentidest.

Projektis kasutatud kontrolleri valimisel lähtuti selle positiivsetest ja negatiivsetest omadustest. Kasutatud tarkvarast on tehtud ülevaade ja selle põhimõttelise tööviisi seletus. Mille järgi on vaadatud kontrolleri programmeerimis keskkonda ja programm koodi mida on kasutatud selle seadmel.

Lõputöö käigus tekkisid ideed antud seadme edasiarendamiseks. Antud lõputöö seade võiks ja oleks peamiselt alternatiiv kallitele simulaatori käsipidurite kontrolleritele. Käesoleva lõputöö prototüübist valmisid tehnilised joonised.

Kasutatud kirjandus

1. Collins English Dictionary – Complete & Unabridged. (2012). /William Collins: British Dictionary. [on-line] <http://www.dictionary.com/browse/simulator> (18.05.2017).
2. Virtuaalsed simulaatorid ja nende rakendamine reaalsete oskuste omandamiseks gran turismo näitel. (2015). [on-line] Tallinna Ülikool. www.cs.tlu.ee/teemad/get_file.php?id=339 (18.05.2017).
3. Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele. (vastu võetud 13.06.2011). – *Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/116062011008> (18.05.2017).
4. Eesti keele seletav sõnaraamat. (2009). [on-line] <http://www.eki.ee/dict/ekss/> (18.05.2017).
5. Pilt: tootja: Fanatec, käsipiduri. (2017). [on-line] <https://www.fanatec.com/us-en/sim-racing-hardware/clubsport-handbrake-v1-5.html> (18.05.2017).
6. Pilt: tootja: Heusinkveld engineering, käsipiduri pilt. (2017). [on-line] <https://www.h-engineering.net/shop/sim-handbrake-2/> (18.05.2017).
7. Pilt: tootja Derek spear designe, käsipiduri pilt. (2017). [on-line] <http://www.derekspearedesigns.com/handbrake.html> (18.05.2017).
8. Pilt: tootja: Playseat, võidusõidu istme pilt. [on-line] <https://www.amazon.com/Playseat%C2%AE-Gearshift-Holder-Pro-Universal/dp/B00GKFM0KC> (19.05.2017)
9. Pilt: Hüdraulilise käsipiduri paigaldus. [on-line] http://www.formula1-dictionary.net/wrc_braking_tech.html (19.05.2017).
10. Fanatec Clubsport Handbrake Review. (2016). [on-line] <https://www.youtube.com/watch?v=Rx9Z7lNjHqc> (18.05.2017)
11. Pilt: tootja: Heusinkveld engineering, simulaatori pedaalite pilt. [on-line]. <https://www.h-engineering.net/shop/sim-pedals-ultimate/> (18.05.2017)
12. Load Cell Technology In Practice – Society Of Robots, [on-line] https://www.societyofrobots.com/robottheory/load_cell_primer.pdf (18.05.2017).
13. **Brown, W.**, (2006), Programmable Logic Controllers 4th Edition. Oxford: Elsevier Newns, 303 lk.
14. Position sensors, [on-line], http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_2.html, (19.05.2017)
15. **Jon S. Wilson**, (2005), Sensor Technology Handbook. Oxford: Elsevier Newns, 703 lk.
16. Täiturid – elektromehaanilised täiturid, [on-line] http://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_9.html (19.05.2017)

17. **Tallinna Tehnikaülikool.** (2011). Uuenduslik tootmine. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjandus. 446 lk.
18. Mehaanikainseneri käsiraamat. (2012). /Toim. P. Kuul, E. Hendre. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 492 lk.
19. DIN 2098 standarti katalog. [on-line] http://www.lesjoforsab.com/standard-springs/35-42_en_id962.pdf (19.05.2017)
20. **Alan N. Gent.** (2012). Engineering with Rubber. How to Design Rubber Components. Munich: Hanser. 446 lk.
21. Polyurethane & Rubber Property Comparison. [on-line]. <http://www.dynatect.com/elastomer-products/polyurethane-rubber-property-comparison>. [20.05.2017]
22. Hardness Scales. [on-line]. <http://www.dynatect.com/uploads/images/hardscale640compr.gif> [20.05.2017]
23. Arduino Uno & Genuino Uno. [on-line]. <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno> (19.05.2017)
24. Arduino Software (IDE). [on-line]. <https://www.arduino.cc/en/guide/environment> (19.05.2017)
25. Reading a Potentiometer (analoog input). [on-line]. <https://www.arduino.cc/en/tutorial/potentiometer> (19.05.2017)
26. FlightGear. [on-line]. <https://playground.arduino.cc/Main/FlightGearInputPot> (19.05.2017)
27. What is a driver? [on-line] <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/gettingstarted/what-is-a-driver-> (19.05.2017)
28. UnoJouy. [on-line]. <https://github.com/AlanChatham/UnoJoy> (19.05.2017)
29. DFU programming. [on-line]. <https://www.arduino.cc/en/Hacking/DFUProgramming8U2> (19.05.2017)
30. Libraries. [on-line]. <https://www.arduino.cc/en/reference/libraries> (19.05.2017)
31. Estimating sheet metal fabrication costs. [on-line]. <http://etmmfg.com/wp-content/uploads/Estimating-Sheet-Metal-Fabrication-Costs-v3.pdf> [22.05.2017]

SUMMARY

The aims of this applied higher education thesis were met. Solution was found for the problem that was established at the beginning of this thesis. The basic prototype was designed and created. The prototype could be read as a success because it was able to affect the virtual simulator with a second connected controller simultaneously without any faults or errors. Additionally with the changes of the potentiometers position, virtual simulator reacted to the change correctly. Hardware components for the feedback system were theoretically found during this study. Due to practical structure of this project author gained valuable knowledge and experience in the represented field. Author gained understanding of the programming language used in this project and gained new skills in making technical drawings.

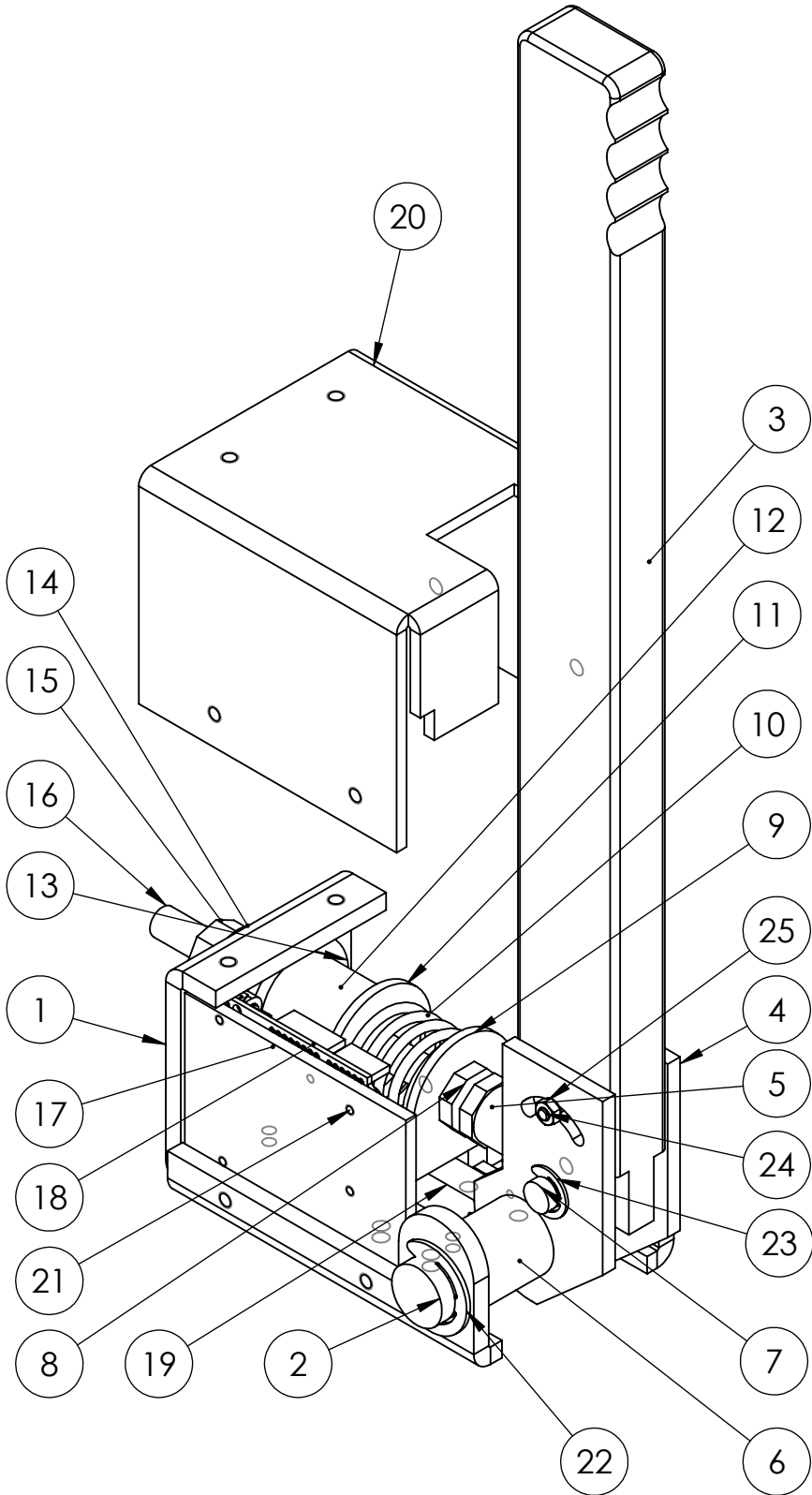
This thesis provides an overview of well-known simulator handbrake solutions. Every handbrake was analyzed in different categories before final design was chosen. Similar comparison was done for positioning sensors.

Product development strategy was chosen prior the design stage of this thesis. Before designing feedback system and its maximum load, author obtained force data from several different cars. This data was used as a basis for feedback system calculations. Based on made calculations, several components were chosen for optimal feedback.

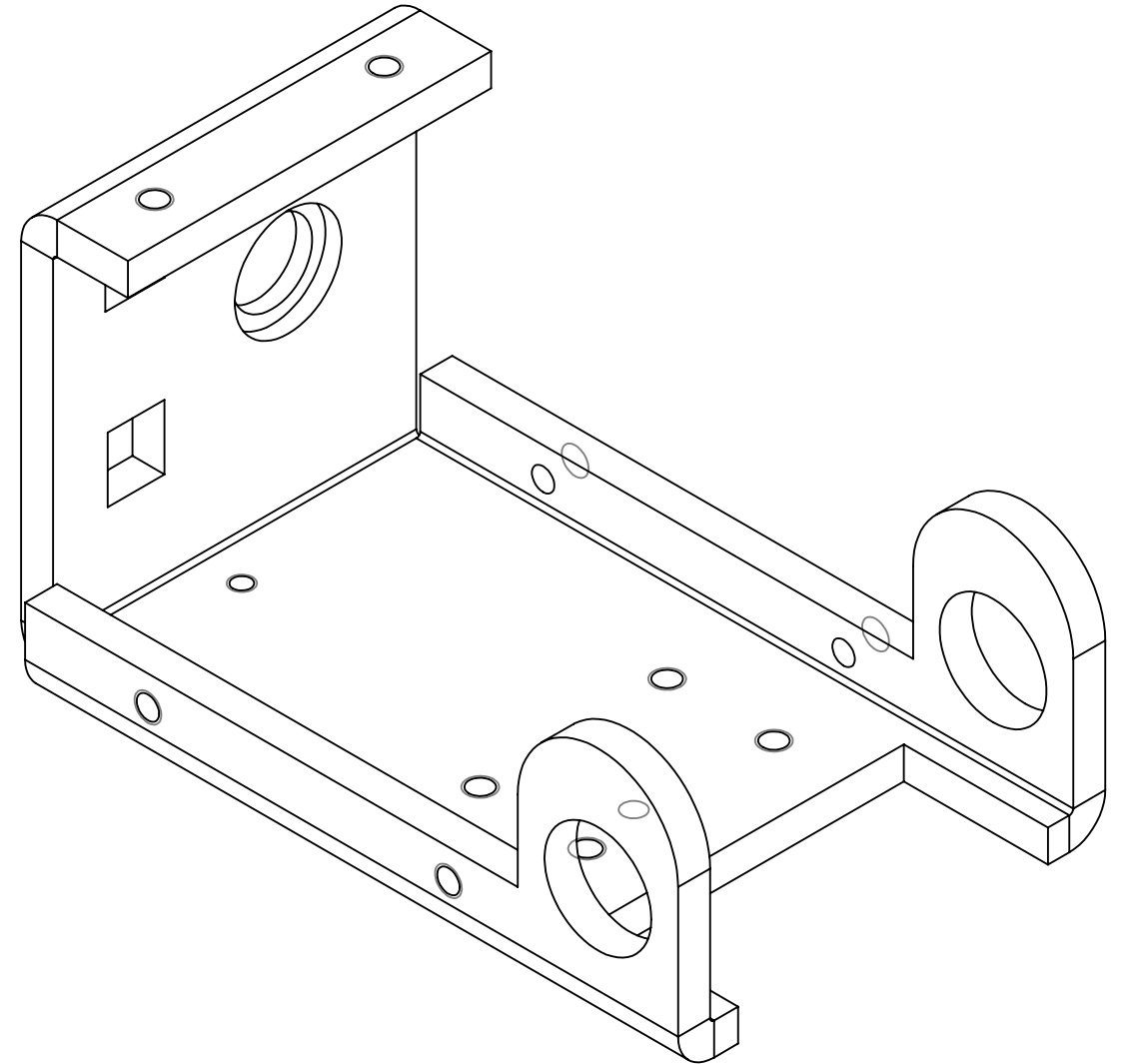
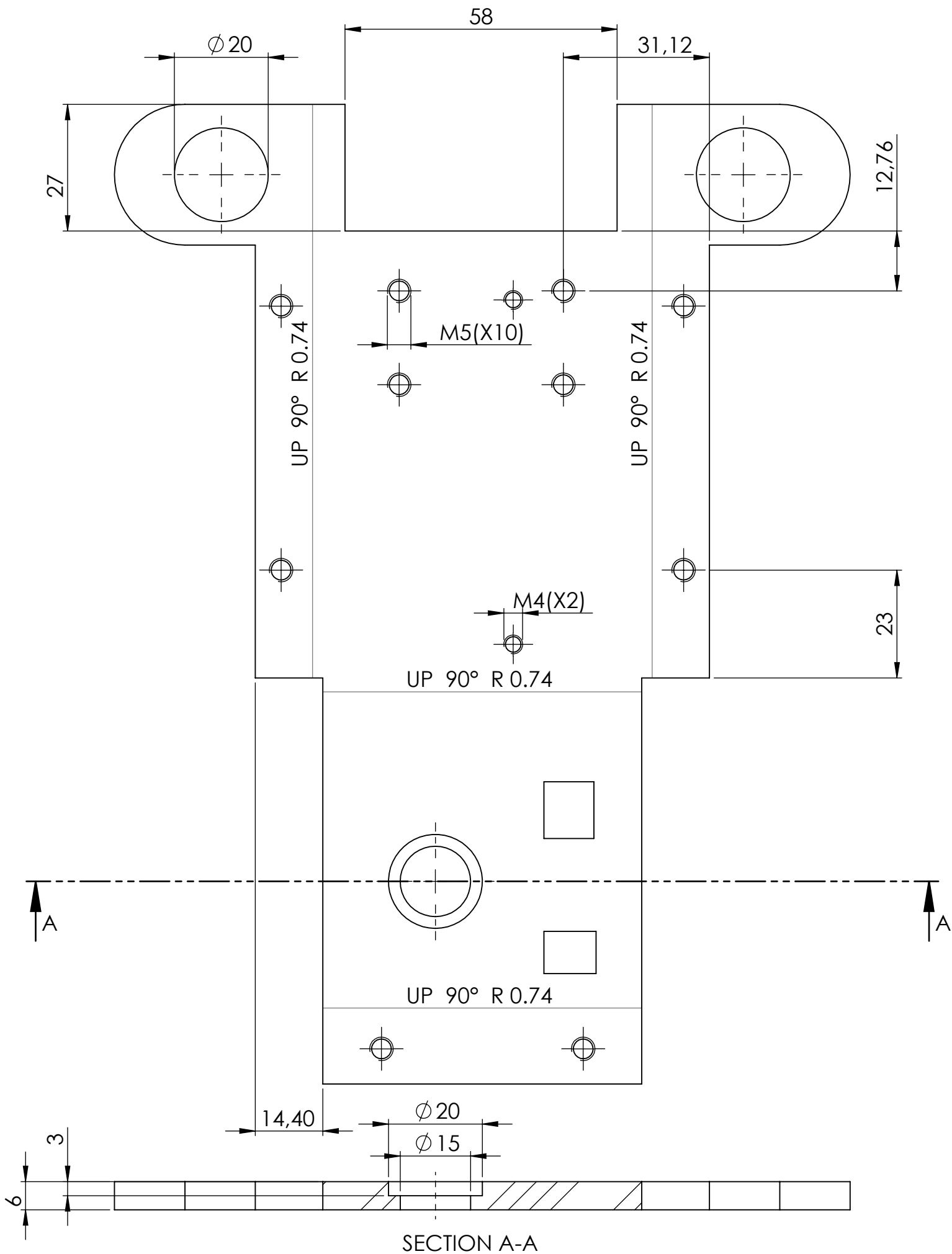
Choice of controller for this project was based on its upsides and downsides. After which an overview of utilized software was done, with explanations of its basic usage and possibilities. Program code which was used for completing established goals of this project.

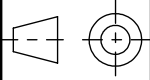

During the project author found additional solutions and ways of enhancing currently existing solution. These solutions are added in the end of this thesis. Technical drawings of the system were created during this project, which are included in appendices.

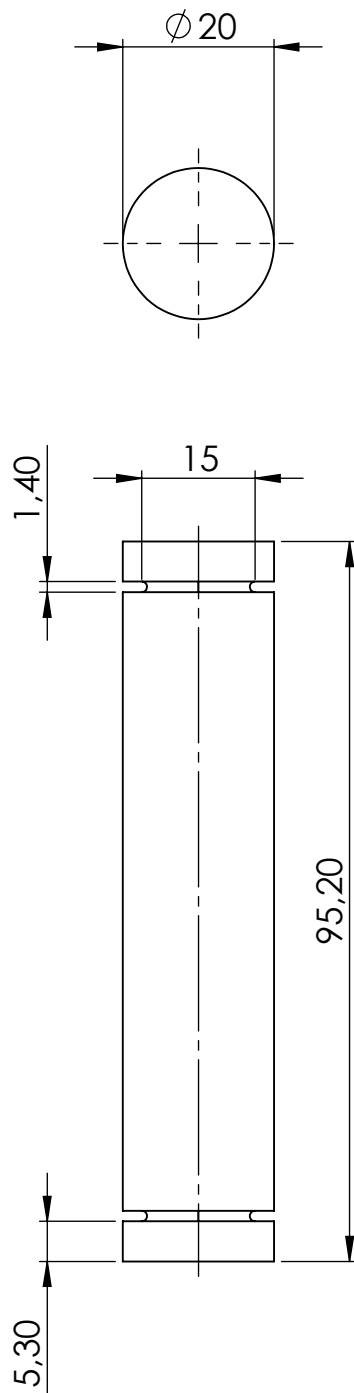
LISAD



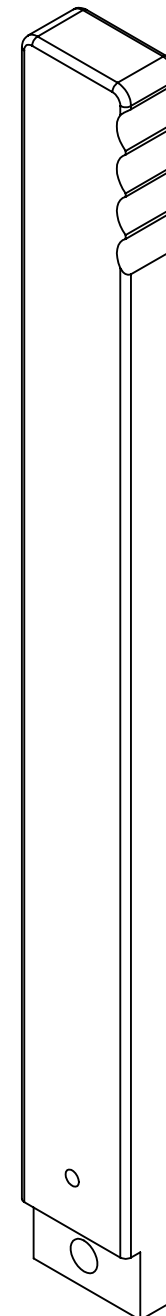
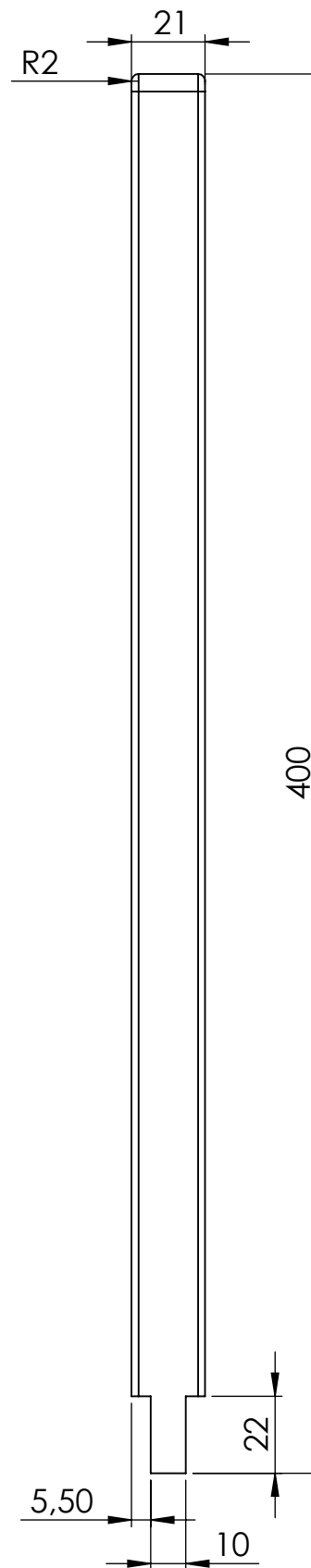
25		Hexagon Nut ISO 4032 - M4 - W - N		1	
24		ISO 4014 - M4 x 35 x 14-N		1	
23		Lock washer DIN 6799 - 8		2	
22		Lock washer DIN 6799 - 15		2	
21		ISO 7045 - M3 x 8 - Z --- 8N		2	
20		Korpuse kaane	TN 17/130266 A 01 13 D	1	
19		Potensiomeeter 100k		1	
18		Arendusplaat Arduino		1	
17		Arendusplaati Arduino kinnitus plaat.	TN 17/130266 A 01 14 D	1	
16		Tagasiside süsteemi völli	TN 17/13066 A 01 12 D	1	
15		Mutter FXA M10		1	
14		Kummi puhver löögi summutamiseks	TN 17/130266 A 01 11 D	1	
13		Seib FXA ZN DIN9021 10/30/2,5		1	
12		Tagasiside süsteemi kummi puhver	TN 17/130266 A 01 10 D	1	
11		Seib FXA ZN DIN9021 10/30/2,5		1	
10		DIN2098 3,2x20x33,5 survevedru		1	
9		Painutatud regulaator seib	TN 17/130266 A 01 09 D	1	
8		Mutter FXA M10		2	
7		Käsiiduri kangi fiksaatori völli	TN 17/130266 A 01 08 D	1	
6		Käsiiduri kangi distantis 1	TN 17/130266 A 01 06 D	1	
5		Clevis GD DIN 71752 10x20		1	
4		Käsiiduri kangi fiksaator	TN 17/130266 A 01 05 D	2	
3		Käsiiduri Kang	TN 17/130266 A 01 04 D	1	
2		Käsiiduri kangi völli	TN 17/130266 A 01 03 D	1	
1		Alusplaat	TN 17/130266 A 01 02 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - 1	Mass: 2862	Mõõt: 1:2
Teostas	Sizov A.	Nimestus: Simulaatori käsiiduri kang tagasiside süsteemiga			
Kontrollis	Madissoo M.				
Kinnitas	Madissoo M.				
		Leht: 1/14	Tähis: TN 14/130266 A 01 01 K		

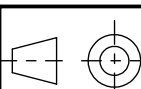



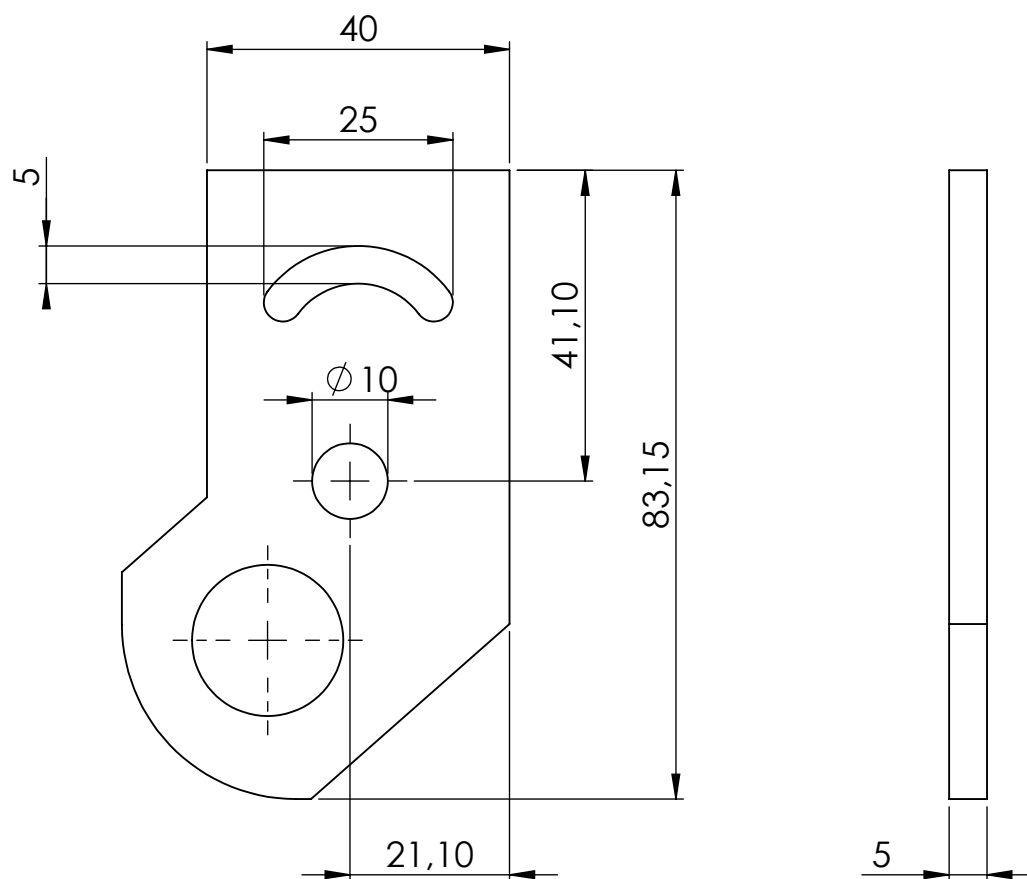
	Materjal:		Näitamata piirhálbed:		Mass:	Mõõt:
	S235 JR		ISO 2768 - 1		772	1:1
	Teostas	Sizov A.	Nimestus:			
	Kontrollis	Madissoo M.				
Kinnitas		Madissoo M.	Alusplaat			
			Leht:	Tähis:		
Eesti Maaülikool			2/14	TN 17/130266 A 01 02 D		



	Materjal: S235JR	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - 1	Mass: 230	Mõõt: 1:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Käsi piduri kangi võll		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 3/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 03 D	

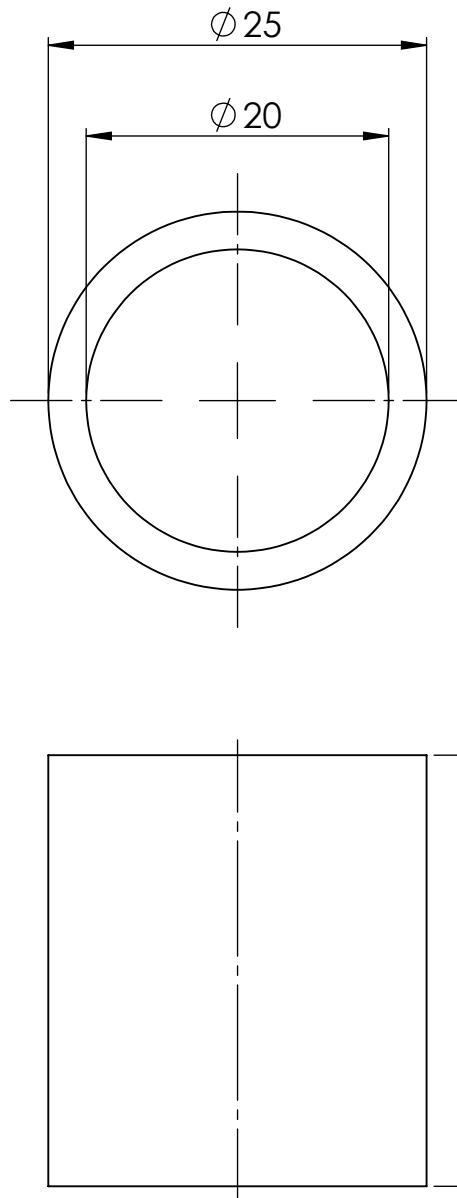


		Materjal: EN AW - 2007	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 867	Mõõt: 1:2
Teostas	Sizov A.	Nimestus: Käsipiduri Kang			
Kontrollis	Madissoo M.				
Kinnitas	Madissoo M.				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 4/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 04 D		

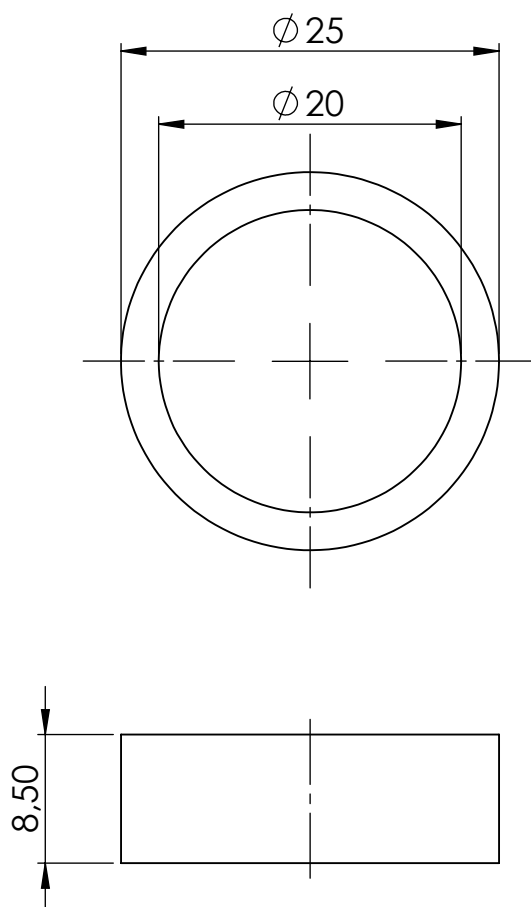



Toota on vaja 2 tk.

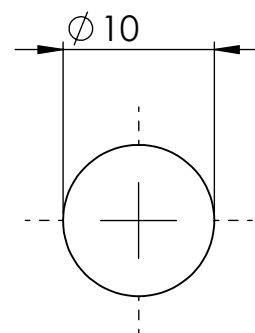
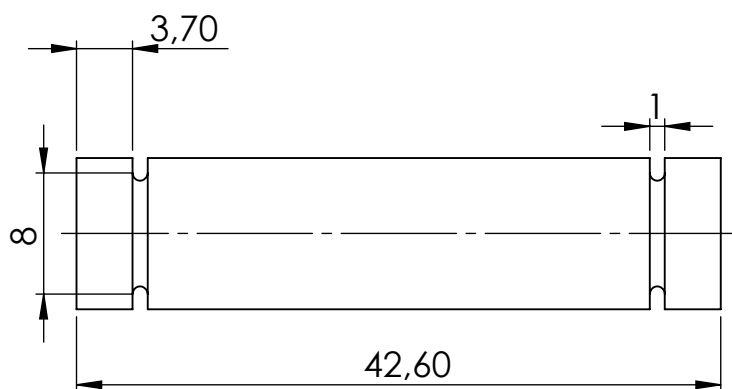
	Materjal: S235 JR	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 108	Mõõt: 1:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Käsi piduri kangi fiksaator		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 5/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 05 D	




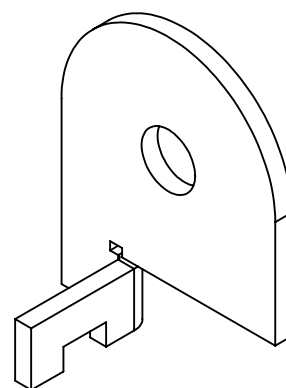
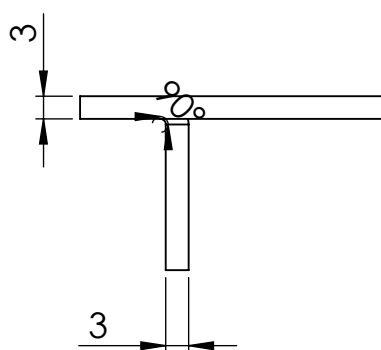
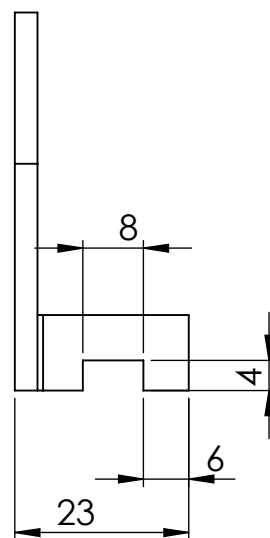
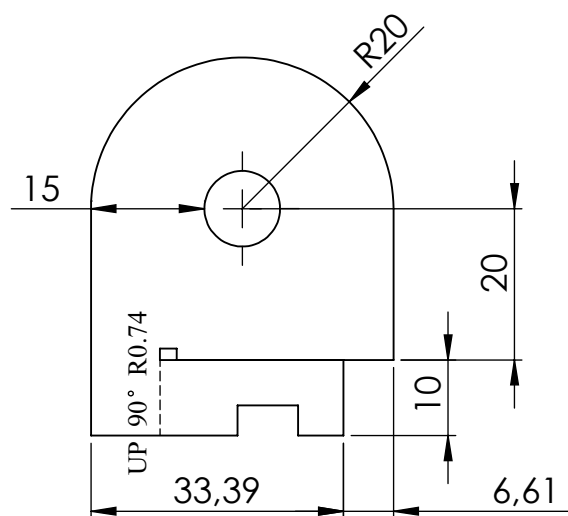
	Materjal: S235 JR	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 39	Mõõt: 2:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Käsipiduri kangi distantis 1		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
		Leht: 6/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 06 D	



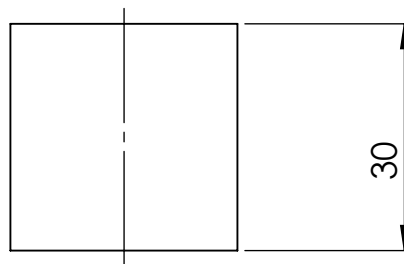
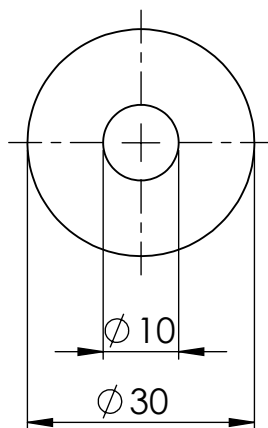
	Materjal: S235 JR	Näitamata püürhålbet: ISO 2768 - 1	Mass: 12	Mõõt: 2:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Kåsipiduri kangi distants 2		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 7/14	Tåhis: TN 17/130266 A 01 07 D	




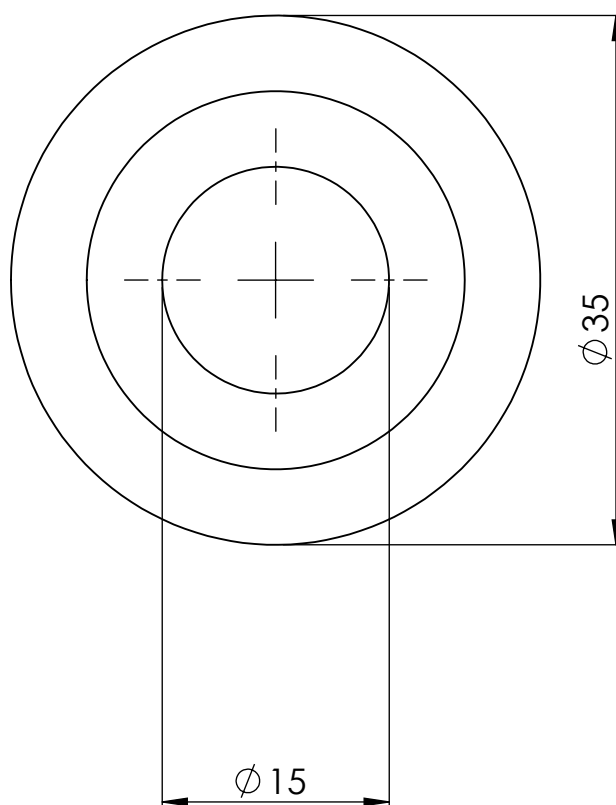
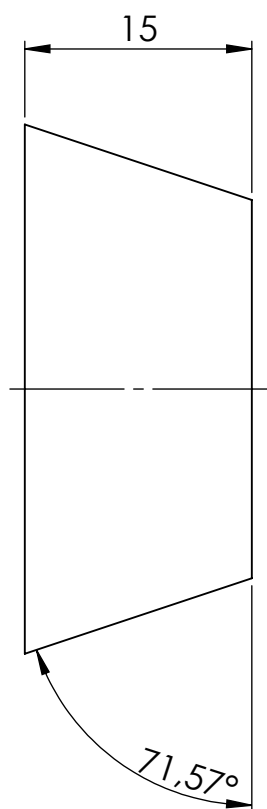
	Materjal: S235 JR	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 26	Mõõt: 2:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Käsi piduri kangsi fiksaatori võll		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 8/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 08 D	



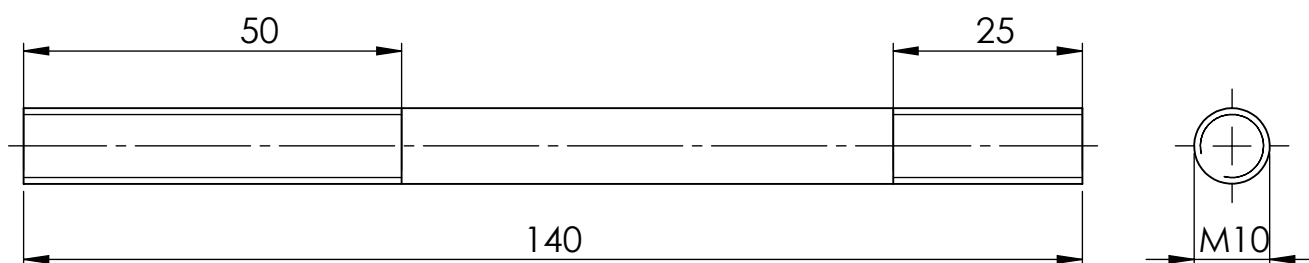
	Materjal: S235 JR	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 38	Mõõt: 1:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Painutatud regulaator seib		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
		Leht: 9/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 09 D	

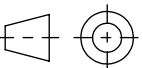



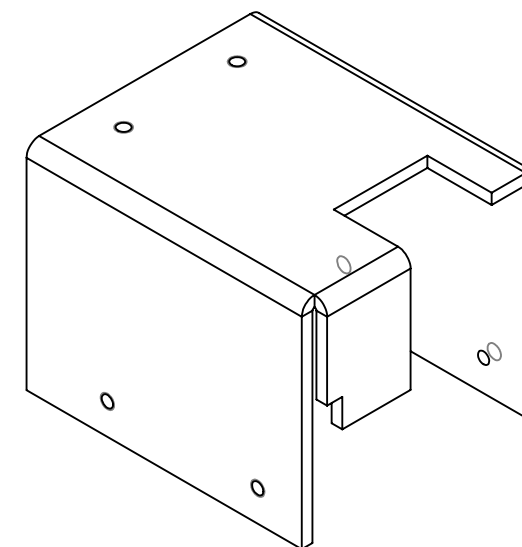
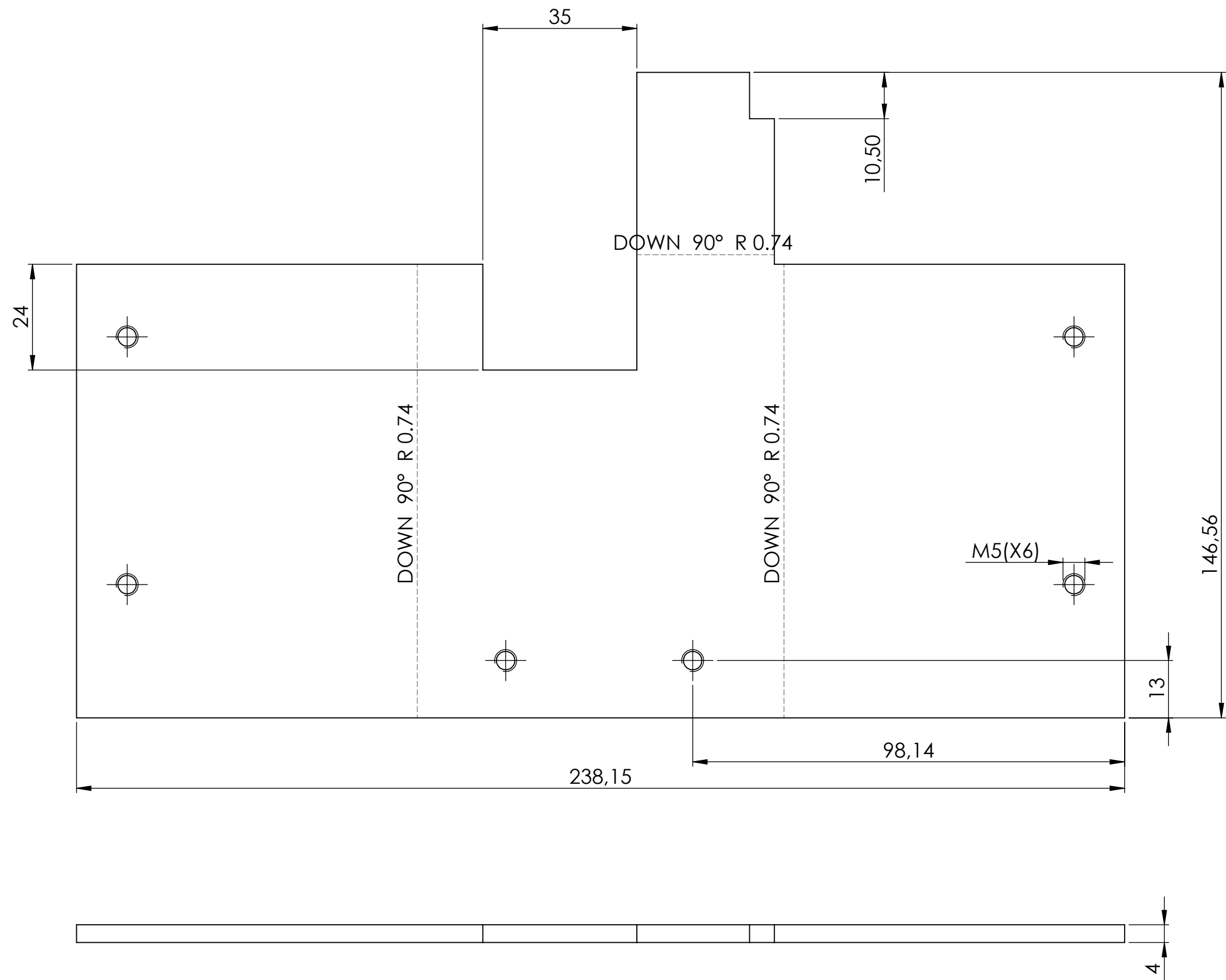
	Materjal: Polüuretaan	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 23	Mõõt: 1:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Tagasiside süsteemi kummi puhver		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 10/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 10 D	



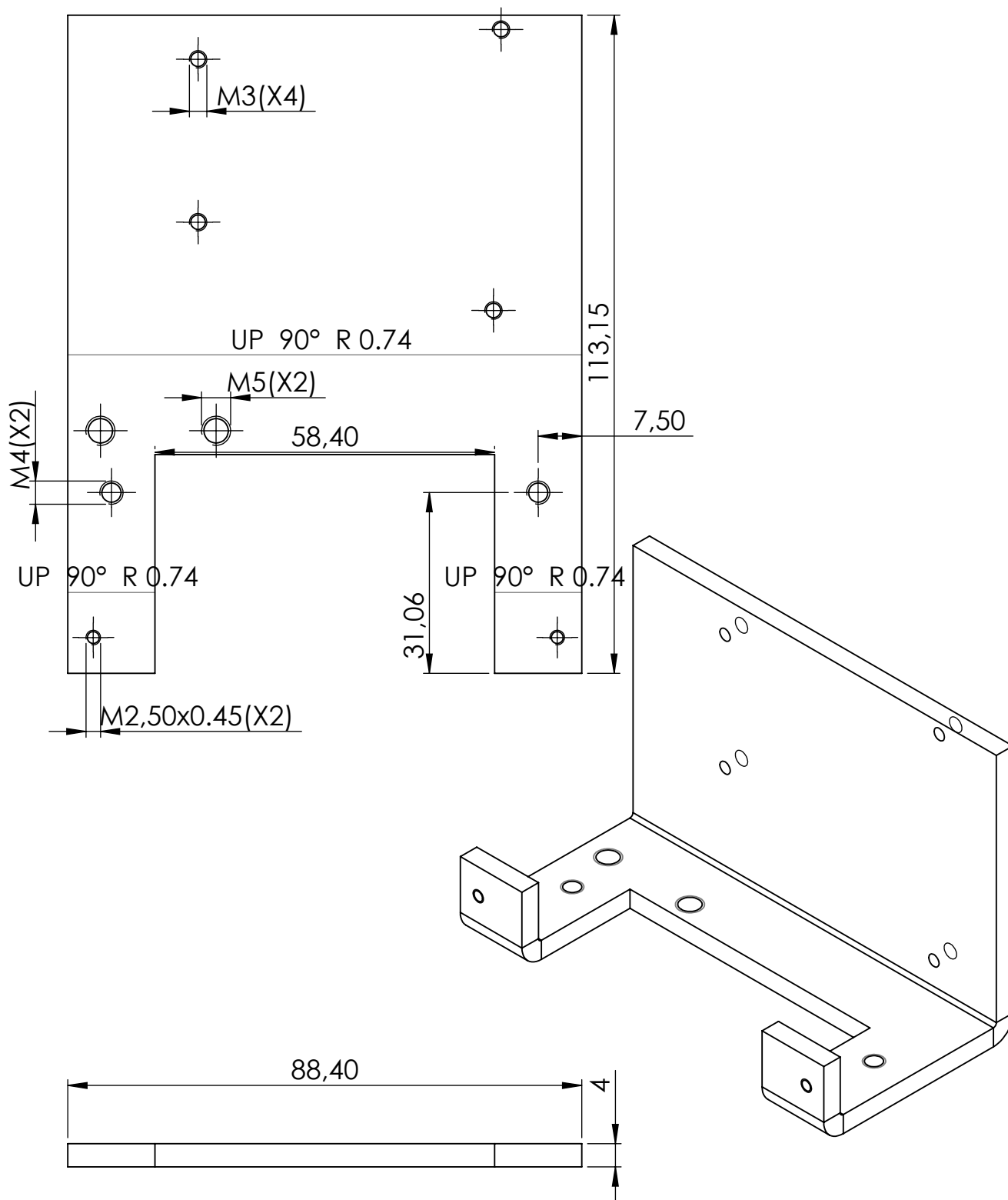
	Materjal: Polüuretaan	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 10	Mõõt: 2:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Kummi puhver löögi summutamiseks		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 11/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 11 D	



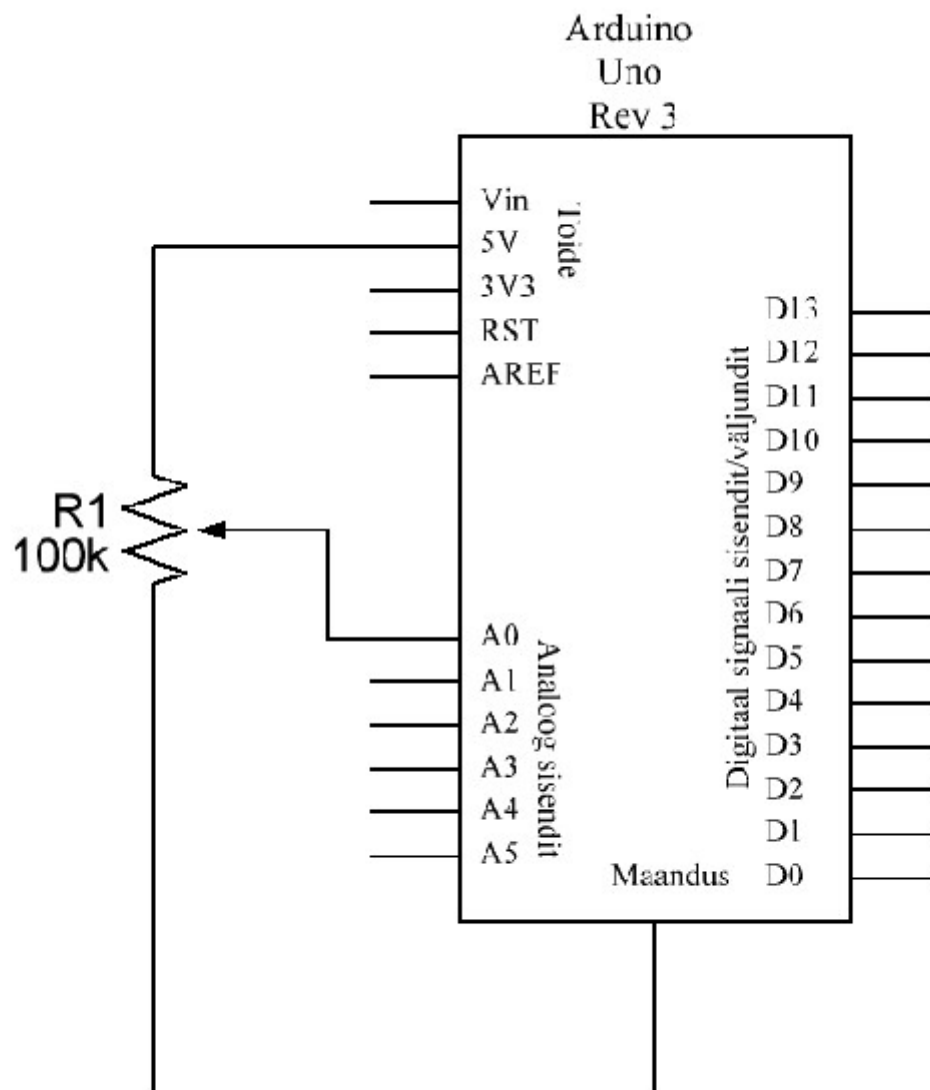
	Materjal: S235 JR		Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 86	Mõõt: 1:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Tagasiside süsteemi võll			
Kontrollis	Madissoo M.				
Kinnitas	Madissoo M.				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 12/14	Tähis: TN 17/13066 A 01 12 D		




	Materjal:		Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	EN AW - 2007		ISO 2768 - 1	269	1:1
	Teostas	Sizov A.	Nimestus:		
	Kontrollis	Madissoo M.			
	Kinnitas	Madissoo M.			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences			Leht:	Tähis:	
			13/14	TN 17/130266 A 01 13 D	



	Materjal: EN AW - 2007	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - 1	Mass: 84	Mõõt: 1:1
Teostas	Sizov A.	Nimetus: Arendusplaati Arduino kinnitus plaat.		
Kontrollis	Madissoo M.			
Kinnitas	Madissoo M.			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht: 14/14	Tähis: TN 17/130266 A 01 14 D	



R1	Potensiomeeter	1	
Tähis	Nimetus	Hulk	Märkus
Tellija		Objekt, seade Simulaatori käsipidur	
Teostas	Sizov A.	Nimetus Simulaatori käsipiduri elektri skeem	
Kontrollis	Madissoo M.		
Kinnitas	Madissoo M.		
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences		Leht 1/1	Tähis TN 17/130266 B 01 01 S

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____,
(*autori nimi*)
sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)